



TESIS - SM 142501

# **PENERAPAN *MODEL PREDICTIVE CONTROL* (MPC) PADA OPTIMISASI PORTOFOLIO SAHAM**

WAWAN HAFID SYAIFUDIN  
NRP 1213 201 050

DOSEN PEMBIMBING  
Subchan, Ph.D  
Endah Rochmati M.P., Ph.D

PROGRAM MAGISTER  
JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015



THESIS - SM 142501

# **APPLICATION OF MODEL PREDICTIVE CONTROL (MPC) FOR STOCK PORTFOLIO OPTIMIZATION**

WAWAN HAFID SYAIFUDIN  
NRP 1213 201 050

SUPERVISORS  
Subchan, Ph.D  
Endah Rochmati M.P., Ph.D

MASTER'S DEGREE  
MATHEMATICS DEPARTMENT  
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES  
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
SURABAYA  
2015



# **PENERAPAN MODEL PREDICTIVE CONTROL (MPC) PADA OPTIMISASI PORTOFOLIO SAHAM**

Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Magister Sains (M.Si.)

di

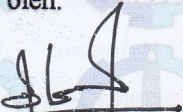
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

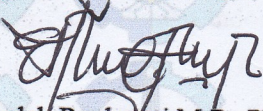
**WAWAN HAFID SYAIFUDIN**  
NRP 1213 201 050

Tanggal Ujian : 8 Mei 2015  
Periode Wisuda : September 2015

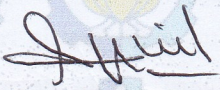
Disetujui oleh:

1.   
Subchan, Ph.D  
NIP 19710513 199702 1 001

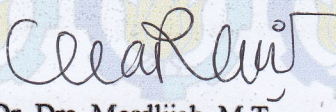
(Pembimbing I)

2.   
Endah Rochmati M.P., Ph.D  
NIP 19761213 200212 2 001

(Pembimbing II)

3.   
Prof. Dr. Erna Apriliani, M.Si.  
NIP 19660414 199102 2 001

(Penguji)

4.   
Dr. Dra. Mardlijah, M.T.  
NIP 19670114 199102 2 001

(Penguji)





# **PENERAPAN *MODEL PREDICTIVE CONTROL* (MPC) PADA OPTIMISASI PORTOFOLIO SAHAM**

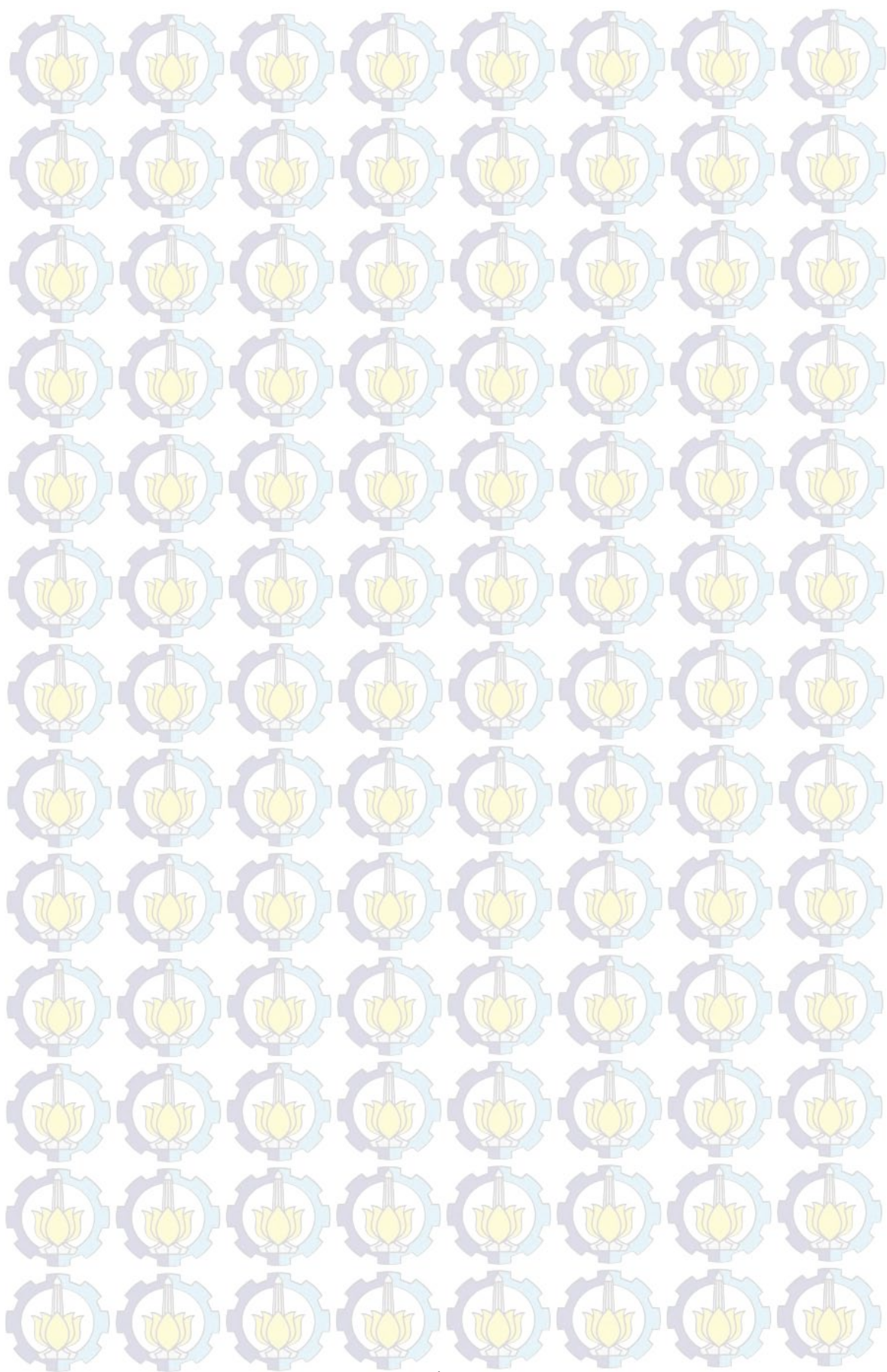
Nama Mahasiswa : Wawan Hafid Syaifudin  
NRP : 1213 201 050  
Pembimbing : Subchan, Ph.D.  
Endah Rochmati M.P., Ph.D

## **ABSTRAK**

Salah satu jenis investasi pada aset finansial adalah saham. Portofolio saham merupakan kumpulan aset yang dimiliki oleh perusahaan maupun perseorangan. Penentuan portofolio saham yang optimal merupakan salah satu hal yang sangat penting bagi kalangan investor. Pada penelitian ini digunakan metode pengendali *model predictive control* (MPC) untuk menyelesaikan permasalahan optimisasi portofolio saham dengan adanya kendala di dalam pembentukan portofolio saham. Data yang digunakan adalah data saham harian sekunder dari 3 perusahaan (Unilever, Perusahaan Gas Negara, dan Semen Indonesia) yang tergabung dalam *Jakarta Islamic Index* (JII) mulai tanggal 31 Mei 2013 sampai dengan tanggal 30 Mei 2014. Pengendali MPC dapat diterapkan dengan baik pada permasalahan optimisasi portofolio saham. Dari hasil simulasi terlihat bahwa jumlah modal yang dimiliki investor yang merupakan *output* dari sistem menunjukkan peningkatan yang signifikan. Kenaikan ini terjadi karena jumlah modal yang diinvestasikan pada portofolio saham berusaha untuk mencapai *reference trajectory* yang ditetapkan. Selain itu *state* dan *input* dari sistem selalu berada di dalam batas *constraint* yang ditetapkan.

**Kata kunci:** *model predictive control* (MPC), optimisasi portofolio saham





# APPLICATION OF MODEL PREDICTIVE CONTROL (MPC) FOR STOCK PORTFOLIO OPTIMIZATION

Name : Wawan Hafid Syaifudin

Student ID Number : 1213 201 050

Supervisors : Subchan, Ph.D

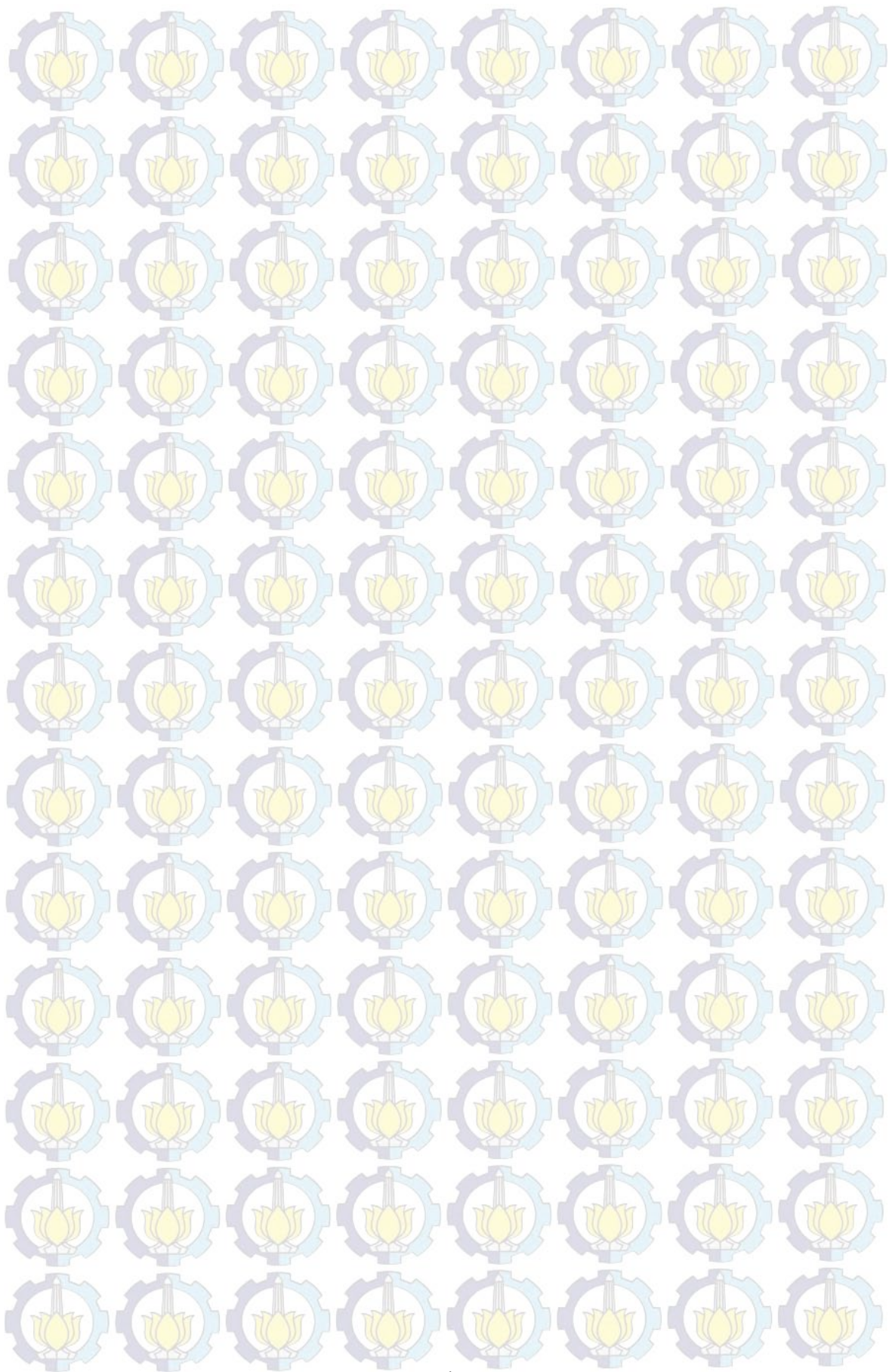
Endah Rochmati M.P., Ph.D

## ABSTRACT

Stock is a type of investment in financial assets. Stock portfolio is a collection of assets that owned by the company or individual. The determination of the optimal stock portfolio is very important for investor. In this research, we propose model predictive control (MPC) to solve the optimization problems under constraints. A practical application of the solution is implemented on the 3 companies in the Jakarta Islamic Index (JII). The time series represent the data between May 31<sup>st</sup> of 2013 until May 30<sup>th</sup> of 2014. The MPC controller can be applied to stock portfolio optimization problem. The simulation results show good performance of the controller in terms of satisfying the state and control constraints. The amount of capital that owned by the investor as the output of system shows a significant increase.

**Keywords:** model predictive control (MPC), stock portfolio optimization







## KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan ridha-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul

### **“PENERAPAN *MODEL PREDICTIVE CONTROL* (MPC) PADA OPTIMISASI PORTOFOLIO SAHAM”**

sebagai salah satu syarat kelulusan Program Studi Strata 2 (S-2) Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan baik. Semoga sholawat serta salam tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing umat-umatnya dari zaman jahiliyah menuju jaman terang benderang yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini tidak lepas dari bantuan serta dukungan banyak pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Erna Apriliani, M.Si selaku Ketua Jurusan Matematika FMIPA ITS yang telah memberikan banyak motivasi serta saran kepada penulis.
2. Bapak Dr. Subiono, M.S., selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Matematika ITS.
3. Bapak Subchan, Ph.D dan Ibu Endah Rochmati M.P., Ph.D selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak membantu, membimbing, memberikan masukan serta arahan kepada penulis dalam penyusunan tesis ini.
4. Ibu Prof. Dr. Erna Apriliani, M.Si dan Ibu Dr. Dra. Mardlijah, M.T. selaku Dosen Penguji Tesis yang memberikan saran, masukan, serta bantuan dalam penyelesaian tesis ini.
5. Bapak Dr. Budi Setiyono, S.Si, M.T selaku Dosen Wali penulis.
6. Kedua orang tua, keluarga, saudara, serta seluruh teman-teman penulis yang senantiasa memberi semangat dan do'a kepada penulis dalam penyusunan tesis ini.
7. Bapak/ibu dosen serta seluruh staff Program Studi Pascasarjana Jurusan Matematika ITS.



8. Seluruh pihak yang telah membantu dan memberikan dukungan kepada penulis.  
Terima kasih atas semua masukan dan bantuan dalam penyelesaian tesis ini.

Penulis menyadari bahwa dalam tesis ini masih banyak terdapat kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat dibutuhkan demi kesempurnaan tesis ini. Akhirnya penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Mei 2015



## DAFTAR ISI

|   |     |
|---|-----|
| LEMBAR PENGESAHAN   | i   |
| ABSTRAK   | iii |
| ABSTRACT  | v   |
| KATA PENGANTAR  | vii |
| DAFTAR ISI  | ix  |
| DAFTAR GAMBAR   | xi  |
| DAFTAR TABEL  | xv  |
| BAB 1 PENDAHULUAN   | 1   |
| 1.1 Latar Belakang.....   | 1   |
| 1.2 Perumusan Masalah.....  | 2   |
| 1.3 Batasan Masalah.....  | 2   |
| 1.4 Tujuan Penelitian.....  | 3   |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....   | 3   |
| BAB 2 KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI                                    | 5   |
| 2.1 Penelitian Sebelumnya.....  | 5   |
| 2.2 Investasi.....  | 6   |
| 2.3 Portofolio.....   | 6   |
| 2.4 <i>Return</i> dalam Investasi.....                                  | 6   |
| 2.5 Manajemen Portofolio Saham.....                                     | 7   |
| 2.6 Kendala pada Portofolio saham.....                                  | 10  |
| 2.7 Aplikasi Kontrol di Bidang Keuangan.....                            | 11  |
| 2.8 <i>Model Predictive Control</i> (MPC) .....                         | 12  |
| 2.8.1 <i>Model Predictive Control</i> (MPC) Linier.....                 | 13  |
| 2.8.2 Fungsi Kriteria Pada <i>Model Predictive Control</i> (MPC).....   | 14  |
| 2.8.3 Optimisasi Pada <i>Model Predictive Control</i> (MPC) Linier..... | 15  |
| 2.9 <i>Jakarta Islamic Index</i> (JII).....                             | 15  |
| BAB 3 METODA PENELITIAN   | 19  |



## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN 21

### 4.1 Pemodelan Matematika pada Manajemen dan Kendala Portofolio Saham..... 21

### 4.2 Penerapan MPC Pada Optimisasi Portofolio Saham.....22

#### 4.2.1 Inisialisasi Awal ..... 22

#### 4.2.2 Perhitungan Kendala pada Portofolio saham..... 24

#### 4.2.3 Prediksi Kontrol Optimal Dengan MPC ..... 25

#### 4.2.4 Portofolio Saham yang Optimal..... 27

### 4.3 Hasil Simulasi pada Optimisasi Portofolio Saham dengan Pinjaman.....27

#### 4.3.1 Hasil Simulasi Portofolio Saham dengan Pinjaman pada Hari ke-3 sampai Hari ke-10.....31

#### 4.3.2 Hasil Simulasi Portofolio Saham dengan Pinjaman pada Hari ke-53 sampai Hari ke-60.....36

#### 4.3.3 Hasil Simulasi Portofolio Saham dengan Pinjaman pada Hari ke-177 sampai Hari ke-184..... 40

### 4.4 Hasil Simulasi pada Optimisasi Portofolio Saham Tanpa Pinjaman.....46

#### 4.4.1 Hasil Simulasi Portofolio Saham Tanpa Pinjaman pada Hari ke-12 sampai Hari ke-19.....51

#### 4.4.2 Hasil Simulasi Portofolio Saham Tanpa Pinjaman pada Hari ke-68 sampai Hari ke-75.....55

#### 4.4.3 Hasil Simulasi Portofolio Saham Tanpa Pinjaman pada Hari ke-146 sampai Hari ke-153.....59

## BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN 67

### 5.1 Kesimpulan..... 67

### 5.2 Saran.....68

## DAFTAR PUSTAKA 69

## LAMPIRAN 71

### A. Data Saham Harian Unilever..... 71

### B. Data Saham Harian Perusahaan Gas Negara ..... 77

### C. Data Saham Harian Semen Indonesia .....83

## BIODATA PENULIS 89

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 2.1 Sistem kontrol dengan <i>feedback</i> .....   | 11 |
| Gambar 2.2 Struktur dasar MPC.....   | 12 |
| Gambar 2.3 Kalkulasi keluaran proses dan pengendali terprediksi.....   | 13 |
| Gambar 4.1 <i>Return</i> saham harian pada tiga perusahaan.....  | 28 |
| Gambar 4.2 Nilai $p_1$ dan $q_1$ di dalam portofolio saham dengan pinjaman .....   | 28 |
| Gambar 4.3 Nilai $p_2$ dan $q_2$ di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....  | 29 |
| Gambar 4.4 Nilai $p_3$ dan $q_3$ di dalam portofolio saham dengan pinjaman .....   | 29 |
| Gambar 4.5 Nilai $v$ di dalam portofolio saham dengan pinjaman .....   | 29 |
| Gambar 4.6 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....  | 30 |
| Gambar 4.7 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko serta pinjaman di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....                                   | 31 |
| Gambar 4.8 Nilai $p_1$ dan $q_1$ untuk hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....                                   | 32 |
| Gambar 4.9 Nilai $p_2$ dan $q_2$ untuk hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....                                   | 32 |
| Gambar 4.10 Nilai $p_3$ dan $q_3$ untuk hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....                                  | 32 |
| Gambar 4.11 Nilai $v$ pada untuk ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....  | 33 |
| Gambar 4.12 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....    | 33 |
| Gambar 4.13 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko dan pinjaman hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman..... | 33 |
| Gambar 4.14 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....          | 34 |
| Gambar 4.15 Nilai $p_1$ dan $q_1$ untuk hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....                                 | 36 |
| Gambar 4.16 Nilai $p_2$ dan $q_2$ untuk hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....                                 | 36 |



|   |    |
|---|----|
| Gambar 4.17 Nilai $p_3$ dan $q_3$ untuk hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....                                    | 37 |
| Gambar 4.18 Nilai $v$ untuk hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....  | 37 |
| Gambar 4.19 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....      | 37 |
| Gambar 4.20 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko dan pinjaman hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....   | 38 |
| Gambar 4.21 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....            | 38 |
| Gambar 4.22 Nilai $p_1$ dan $q_1$ untuk hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....                                  | 41 |
| Gambar 4.23 Nilai $p_2$ dan $q_2$ untuk hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....                                  | 41 |
| Gambar 4.24 Nilai $p_3$ dan $q_3$ untuk hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....                                  | 41 |
| Gambar 4.25 Nilai $v$ untuk hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....  | 42 |
| Gambar 4.26 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....    | 42 |
| Gambar 4.27 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko dan pinjaman hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman..... | 42 |
| Gambar 4.28 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....          | 43 |
| Gambar 4.29 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....   | 45 |
| Gambar 4.30 Nilai $p_1$ dan $q_1$ di dalam portofolio saham tanpa pinjaman .....  | 49 |
| Gambar 4.31 Nilai $p_2$ dan $q_2$ di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....   | 49 |
| Gambar 4.32 Nilai $p_3$ dan $q_3$ di dalam portofolio saham tanpa pinjaman .....  | 49 |
| Gambar 4.33 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....   | 50 |
| Gambar 4.34 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko di dalam portofolio saham dengan pinjaman.....  | 50 |

|   |    |
|---|----|
| Gambar 4.35 Nilai $p_1$ dan $q_1$ untuk hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....                                 | 51 |
| Gambar 4.36 Nilai $p_2$ dan $q_2$ untuk hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....                                 | 52 |
| Gambar 4.37 Nilai $p_3$ dan $q_3$ untuk hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....                                 | 52 |
| Gambar 4.38 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....   | 52 |
| Gambar 4.39 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....             | 53 |
| Gambar 4.40 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....         | 53 |
| Gambar 4.41 Nilai $p_1$ dan $q_1$ untuk hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....                                 | 55 |
| Gambar 4.42 Nilai $p_2$ dan $q_2$ untuk hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....                                 | 56 |
| Gambar 4.43 Nilai $p_3$ dan $q_3$ untuk hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....                                 | 56 |
| Gambar 4.44 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....   | 56 |
| Gambar 4.45 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....             | 57 |
| Gambar 4.46 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....         | 57 |
| Gambar 4.47 Nilai $p_1$ dan $q_1$ untuk hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....                               | 59 |
| Gambar 4.48 Nilai $p_2$ dan $q_2$ untuk hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....                               | 60 |
| Gambar 4.49 Nilai $p_3$ dan $q_3$ untuk hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....                               | 60 |
| Gambar 4.50 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman..... | 60 |
| Gambar 4.51 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....           | 61 |



|   |    |
|---|----|
| Gambar 4.52 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman..... | 61 |
| Gambar 4.53 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor di dalam portofolio saham tanpa pinjaman.....  | 63 |
| Gambar 4.54 Perbandingan jumlah seluruh modal investor pada portofolio saham dengan pinjaman dan tanpa pinjaman.....                                | 64 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 2.1 Hubungan antara variabel kontrol sistem dengan variabel portofolio.....   | 11 |
| Tabel 4.1 Data parameter portofolio saham.....  | 23 |
| Tabel 4.2 Harga dan <i>return</i> saham harian serta total modal investor pada hari ke-5 sampai dengan hari ke-8.....             | 34 |
| Tabel 4.3 Nilai $x_1, p_1, q_1, x_2, p_2, q_2, x_3, p_3, q_3, x_4, x_5$ , dan $v$ pada hari ke-5 sampai dengan hari ke-8.....     | 35 |
| Tabel 4.4 Harga dan <i>return</i> saham harian serta total modal investor pada hari ke-55 sampai dengan hari ke-58.....           | 39 |
| Tabel 4.5 Nilai $x_1, p_1, q_1, x_2, p_2, q_2, x_3, p_3, q_3, x_4, x_5$ , dan $v$ pada hari ke-55 sampai dengan hari ke-58.....   | 39 |
| Tabel 4.6 Harga dan <i>return</i> saham harian serta total modal investor pada hari ke-179 sampai dengan hari ke-182.....         | 43 |
| Tabel 4.7 Nilai $x_1, p_1, q_1, x_2, p_2, q_2, x_3, p_3, q_3, x_4, x_5$ , dan $v$ pada hari ke-179 sampai dengan hari ke-182..... | 44 |
| Tabel 4.8 Harga dan <i>return</i> saham harian serta total modal investor pada hari ke-14 sampai dengan hari ke-17.....           | 54 |
| Tabel 4.9 Nilai $x_1, p_1, q_1, x_2, p_2, q_2, x_3, p_3, q_3$ , dan $x_4$ pada hari ke-14 sampai dengan hari ke-17.....           | 54 |
| Tabel 4.10 Harga dan <i>return</i> saham harian serta total modal investor pada hari ke-70 sampai dengan hari ke-73.....          | 58 |
| Tabel 4.11 Nilai $x_1, p_1, q_1, x_2, p_2, q_2, x_3, p_3, q_3$ , dan $x_4$ pada hari ke-70 sampai dengan hari ke-73.....          | 58 |
| Tabel 4.12 Harga dan <i>return</i> saham harian serta total modal investor pada hari ke-148 sampai dengan hari ke-151.....        | 62 |
| Tabel 4.13 Nilai $x_1, p_1, q_1, x_2, p_2, q_2, x_3, p_3, q_3$ , dan $x_4$ pada hari ke-148 sampai dengan hari ke-151.....        | 62 |





## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

Pada Bab 1 ini dibahas mengenai latar belakang yang mendasari penelitian pada tesis ini. Dari informasi tersebut, selanjutnya dibuat rumusan masalah, tujuan, dan manfaat dari penelitian ini.

#### **1.1 Latar Belakang**

Dalam beberapa tahun terakhir ini, pasar modal Indonesia menjadi perhatian banyak pihak, khususnya masyarakat bisnis. Kegiatan pasar modal yang semakin berkembang serta meningkatnya keinginan masyarakat bisnis untuk mencari alternatif sumber pembiayaan usaha selain bank adalah beberapa hal yang menjadi alasannya. Tiap-tiap perusahaan dapat menerbitkan dan menjual sahamnya di pasar modal untuk mendapatkan dana yang diperlukan, tanpa harus membayar beban bunga tetap. Selain itu, meningkatnya keinginan masyarakat untuk menjadi investor juga turut mempengaruhi perkembangan pasar modal.

Pasar modal menjadi wahana alternatif bagi masyarakat untuk berinvestasi selain investasi riil. Hal ini dilakukan sejalan dengan meningkatnya kebutuhan masyarakat yang tidak lagi berbentuk kebutuhan pokok saja. Penghasilan masyarakat yang diperoleh sekarang disisihkan dan digunakan untuk berinvestasi. Diharapkan hasil investasi tersebut dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan serta meningkatkan kesejahteraan masyarakat di masa yang akan datang.

Ada beberapa faktor yang mempengaruhi peran pasar modal sebagai wahana alternatif bagi masyarakat bisnis untuk berinvestasi. Salah satu faktor yang menentukan adalah tingkat kemampuan investor memilih saham secara rasional. Rasionalitas investor dapat diukur dari cara mereka dalam memilih saham yang memberikan *return* maksimum pada tingkat risiko tertentu atau mempunyai risiko minimum pada tingkat *return* tertentu. Langkah pendekatan yang dapat dilakukan oleh para investor adalah dengan melakukan penghitungan dalam pemilihan dan penentuan portofolio serta pola perilaku investor di bursa dalam transaksi jual beli saham. Cara seperti ini disebut sebagai strategi investasi aktif.

Portofolio merupakan kombinasi atau gabungan atau sekumpulan aset, baik berupa aset finansial maupun aset riil yang dimiliki oleh investor [1]. Penentuan portofolio saham yang optimal merupakan sesuatu yang sangat penting bagi kalangan investor. Portofolio saham



yang optimal akan menghasilkan *return* yang optimal dengan risiko yang dapat dipertanggungjawabkan.

Permasalahan optimisasi portofolio saham pada dasarnya merupakan permasalahan dinamis yang melibatkan dinamika stokastik dari harga asset yang terus berkembang. Selain itu, terdapat beberapa permasalahan kontrol di dalam alokasi portofolio yang digunakan untuk mengontrol kekayaan/modal dari investor. Beberapa kendala yang megikutinya antara lain adalah pembagian alokasi dana yang terbatas, batasan jumlah pinjaman yang diperkenankan, dan lainnya.

Salah satu metode kontrol yang dapat digunakan dalam mengatasi kendala pada sebuah sistem adalah *model predictive control* (MPC). Tipe pengendali ini termasuk dalam kategori pengendali berbasis model proses, yaitu model proses digunakan secara eksplisit untuk mendesain pengendali, dengan meminimumkan suatu fungsi kriteria. Selain itu, MPC dapat menggabungkan semua tujuan menjadi fungsi objektif tunggal serta optimisasi yang diberikan sangat efektif untuk menangani sistem yang memiliki kendala pada *input* dan *state* [2]. MPC banyak digunakan dalam bidang industri. Salah satu alasan utama keberhasilan MPC pada aplikasi dalam bidang industri adalah kemampuan dalam menerapkan berbagai jenis kendala pada proses. Keunggulan dari metode MPC adalah kemampuannya dalam mengatasi kendala pada variabel kontrol dan variabel *state*.

Dalam penelitian ini *model predictive control* digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimisasi portofolio saham, sehingga nantinya didapatkan portofolio saham yang optimal dari kumpulan saham yang dijadikan objek penelitian.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang yang telah dijelaskan di atas, permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana penerapan *model predictive control* (MPC) pada permasalahan optimisasi portofolio saham?
2. Bagaimana hasil simulasi dari penerapan *model predictive control* pada optimisasi portofolio saham dengan menggunakan *software* MATLAB?

## **1.3 Batasan Masalah**

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini dibatasi sebagai berikut:

1. Portofolio saham dibentuk dari aset finansial berupa saham, jumlah tabungan investor di bank, serta jumlah pinjaman investor.



2. Data yang digunakan adalah data saham harian sekunder dari 3 perusahaan yang tergabung di dalam *Jakarta Islamic Index* (JII) yaitu Unilever, Perusahaan Gas Negara (PGN), dan Semen Indonesia mulai tanggal 31 Mei 2013 sampai dengan tanggal 30 Mei 2014.
3. Pembagian dividen tidak dimasukkan dalam perhitungan.
4. Investor tidak diperkenankan melakukan *short selling* selama periode investasi.
5. Pada saat investasi portofolio berlangsung, perekonomian negara dalam keadaan normal, misalnya tidak dalam kondisi krisis moneter yang mengakibatkan harga ketiga saham yang dijadikan objek penelitian turun drastis.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah

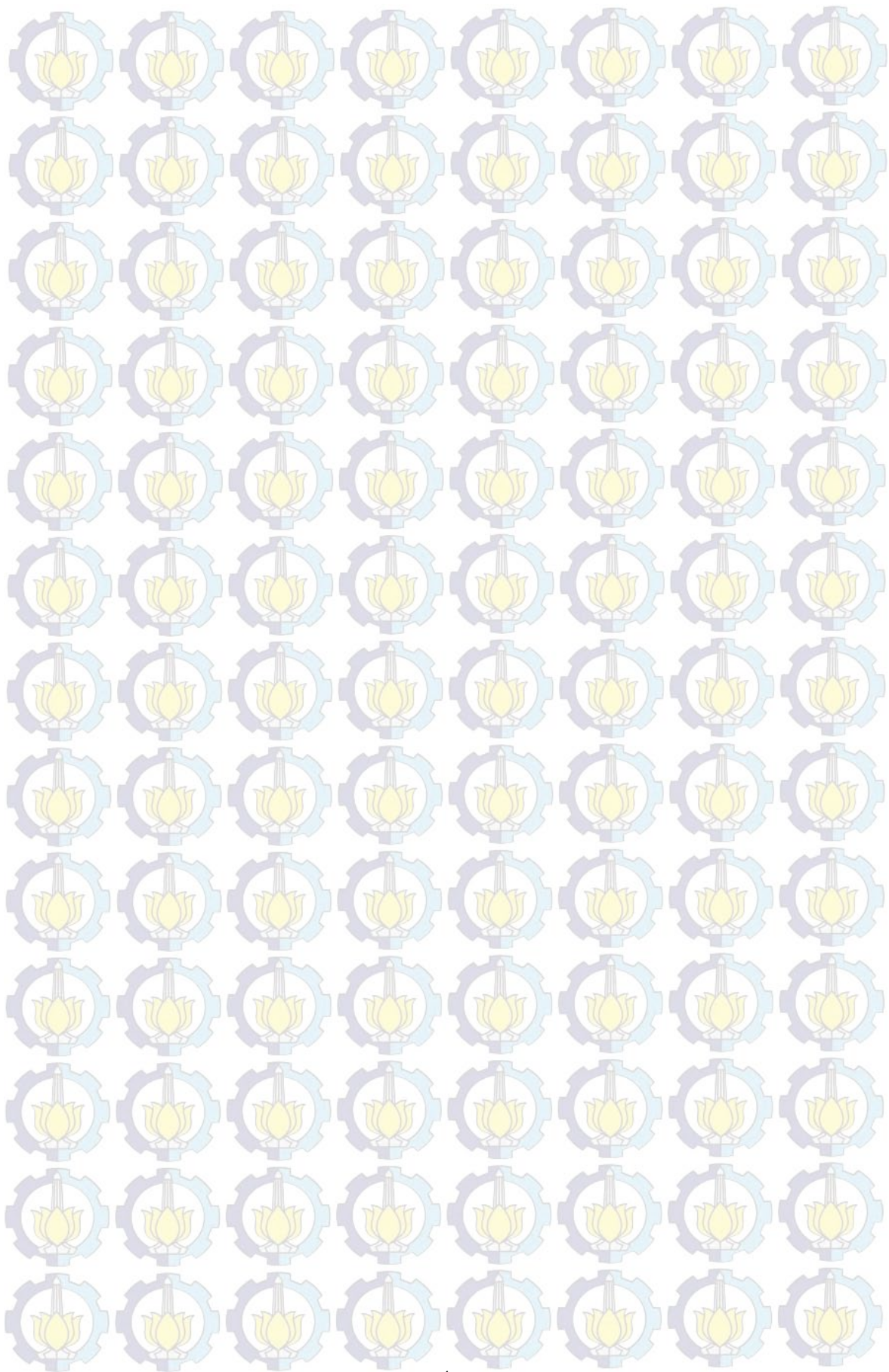
1. Menerapkan *model predictive control* (MPC) pada permasalahan optimisasi portofolio saham.
2. Mengetahui hasil simulasi dari penerapan *model predictive control* pada optimisasi portofolio saham.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah

1. Suatu bentuk kontribusi dalam pengembangan ilmu matematika terapan di bidang kontrol dan keuangan, khususnya aplikasi *model predictive control* (MPC) pada permasalahan optimisasi portofolio saham.
2. Hasil yang didapatkan dari hasil simulasi diharapkan dapat dijadikan rujukan dalam penelitian di bidang manajemen portofolio, khususnya dalam permasalahan optimisasi portofolio saham.





## BAB 2

### KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bab ini dijelaskan beberapa kajian pustaka dan dasar teori yang dikaji untuk digunakan dalam pembahasan selanjutnya, diantaranya adalah: penelitian sebelumnya yang dijadikan dasar untuk melakukan penelitian yang diusulkan, investasi, portofolio, *return* dalam investasi, manajemen portofolio saham, kendala pada portofolio saham, aplikasi kontrol di bidang keuangan, *model predictive control*, dan *Jakarta Islamic Index* (JII).

#### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Penelitian mengenai aplikasi dari *model predictive control* (MPC) telah banyak dilakukan pada berbagai bidang keilmuan. Salah satunya adalah penerapan MPC pada kendali haluan kapal yang dilakukan oleh Subchan, dkk.[3]. Pada penelitian tersebut, pengendali MPC dapat diterapkan dengan baik pada kendali haluan kapal, dimana *state* dan *input* dari sistem berada dalam batas *constraint* yang diberikan dan gerakan dari kapal dapat mengikuti *reference trajectory* yang diinginkan. Penelitian lain yang berkaitan dengan penerapan MPC dilakukan oleh Yuninda, yaitu pengendalian kadar glukosa penderita diabetes mellitus tipe 1 berbasis metode aktif set MPC [4]. Pada penelitian tersebut, pengendali MPC diterapkan pada proses pengendalian laju insulin bagi penderita penyakit diabetes melitus tipe I. Dari hasil simulasi, terlihat bahwa kontrol pada sistem berada dalam batasan *constraint* yang telah ditetapkan. Pada bidang industri, Seki, dkk. menerapkan MPC pada proses industri kimia, yaitu pada reaktor polimerisasi [5].

Penelitian terkait portofolio sendiri pertama kali dilakukan oleh Markowitz pada tahun 1952. Ia memperkenalkan teori pemilihan portofolio optimal, dimana portofolio tersebut mampu memberikan *expected return* yang maksimum sekaligus meminimumkan varians. Teori ini kemudian berkembang menjadi teori portofolio yang dikenal dengan istilah *mean variance efficiency* (MV) portofolio [6]. Penelitian lainnya yang berkaitan dengan optimisasi portofolio dilakukan oleh Primbs. Dalam penelitiannya, ia menggunakan *stochastic receding horizon* dalam menyelesaikan permasalahan optimisasi portofolio [7].

Dari kajian penelitian-penelitian sebelumnya tersebut, maka dalam penelitian ini diajukan metode pengendali *model predictive control* (MPC) pada permasalahan optimisasi portofolio saham agar didapatkan portofolio saham yang optimal.



## 2.2 Investasi

Investasi merupakan penempatan sejumlah dana pada saat ini dengan harapan untuk memperoleh keuntungan di masa mendatang. Pada umumnya investasi dibedakan menjadi dua jenis, yaitu investasi pada aset finansial dan investasi pada aset riil [1]. Investasi pada aset finansial dilakukan di pasar uang, misalnya berupa deposito, *commercial paper*, surat berharga, pasar uang dan lainnya, atau dapat juga dilakukan di pasar modal misalnya berupa saham, obligasi, waran, opsi, dan lainnya. Sedangkan investasi pada aset riil diwujudkan dalam bentuk pembelian aset produktif, pendirian pabrik, pembukaan pertambangan, pembukaan perkebunan, dan lainnya. Salah satu bentuk investasi dalam pasar modal yang paling diminati oleh masyarakat bisnis saat ini adalah saham.

Saham merupakan salah satu aset yang beresiko atau aset yang tingkat pengembalian di masa mendatang masih mengandung ketidakpastian. Ketidakpastian dalam investasi saham membuat konteks *return* dan *risk* (risiko) menjadi pertimbangan dalam manajemen investasi saham. Pertimbangan yang dilakukan investor adalah memperoleh *return* tertentu dengan *risk* terendah, atau *risk* tertentu dengan tingkat *return* tertinggi [8]. Untuk mengantisipasi fluktuasi dari nilai *return* dan *risk* yang ada, investor biasanya melakukan investasi di beberapa saham atau portofolio saham dengan harapan fluktuasi dari *return* saham-saham yang terbentuk di portofolio tidak terlalu tajam.

## 2.3 Portofolio

Portofolio merupakan kombinasi atau gabungan atau sekumpulan aset, baik berupa aset finansial maupun aset riil yang dimiliki oleh investor. Tujuan pembentukan portofolio adalah untuk mengurangi resiko dengan cara diversifikasi, yaitu mengalokasikan sejumlah dana pada berbagai alternatif investasi [1]. Dalam pembentukan portofolio investor cenderung menginginkan *return* yang maksimal dengan resiko yang minimal.

## 2.4 Return dalam Investasi

Dalam konteks manajemen investasi, *return* merupakan imbalan yang diperoleh dari investasi. *Return* sebagai hasil dari investasi dapat berupa *return* realisasi (*realized return*) maupun *return* yang diharapkan (*expected return*) [1]. *Realized return* merupakan *return* yang telah terjadi, dihitung berdasarkan data historis. *Return* ini penting karena digunakan sebagai salah satu pengukur kinerja suatu perusahaan. Sedangkan *expected return* adalah *return* yang diharapkan diperoleh investor di masa yang akan datang. *Return* portofolio



saham merupakan hasil atau keuntungan yang diperoleh investor dari setiap alternatif investasi, dan dapat berasal dari:

1. *Yield* adalah *return* yang merupakan komponen dasar dari suatu investasi, berupa *cash flow* yang diterima secara periodik dan biasanya disebut dividen. Besarnya *yield* bisa positif, nol atau negatif.
2. *Capital gain* atau *capital loss* adalah *return* yang diperoleh investor yang berasal dari perubahan harga aset-aset yang dipegangnya. Apabila perubahan harga tersebut positif maka disebut *capital gain*, sedangkan bila perubahan harga tersebut negatif disebut *capital loss*.

*Return* saham dapat dihitung berdasarkan data historis. Untuk menghitung *return* saham dapat digunakan rumus berikut ini [9]:

$$R_t = \frac{S_t - S_{t-1}}{S_{t-1}} \quad (2.1)$$

dengan

$R_t$  = *return* saham untuk waktu  $t$

$S_t$  = harga saham untuk waktu  $t$

$S_{t-1}$  = harga saham untuk waktu  $t-1$ .

## 2.5 Manajemen Portofolio Saham

Investasi pada aset finansial merupakan penempatan sejumlah dana pada kontrak finansial dengan harapan untuk memperoleh keuntungan di masa mendatang. Setiap investasi pada aset finansial pasti mengandung risiko, khususnya dalam investasi saham. Oleh karena itu semakin besari risiko yang harus ditanggung oleh investor, semakin besar pula *return* yang akan diperoleh. Ketika portofolio saham dipilih, hal utama yang perlu diperhatikan adalah mekanisme atau aturan dalam manajemen portofolio saham tersebut. Pada bagian ini dijelaskan model matematika dari manajemen portofolio saham.

Pada awal waktu, seorang investor memiliki sejumlah modal yang dapat digunakan untuk berinvestasi pada  $i$  aset, dengan  $i = 1, 2, \dots, n$ . Secara umum modal yang dimaksud dalam hal ini adalah uang yang dimiliki oleh investor yang diinvestasikan pada  $i$  saham. Selain itu kekayaan investor juga berasal dari aset bebas risiko, yaitu aset yang terdapat di bank yang menghasilkan *yield*. Aset investor yang terdapat di bank selanjutnya disebut aset ke- $n+1$ . Berikutnya, ketika seorang investor memutuskan untuk meminjam sejumlah dana yang akan



digunakan untuk berinvestasi, maka aset ini disebut aset ke- $n+2$  atau disebut dengan pinjaman modal. Seorang investor harus memutuskan bagaimana cara untuk mengatur ulang portofolio sahamnya setiap hari dengan tujuan untuk mendapatkan *return* yang maksimal pada investasinya.

Model manajemen portofolio untuk  $n$  aset dapat dituliskan sebagai berikut [10]:

$$x_i(k+1) = [1 + \eta_i(k)][x_i(k) + p_i(k) - q_i(k)], i = 1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

dengan

$\eta_i(k)$  = *return* dari aset ke- $i$

$p_i(k)$  = jumlah transfer dari aset bebas risiko ke aset berisiko ke- $i$

$q_i(k)$  = jumlah transfer dari aset berisiko ke- $i$  ke aset bebas risiko

$x_i(k)$  = jumlah modal yang diinvestasikan oleh investor pada aset berisiko ke- $i$

$p_i(k) > 0$  dan  $q_i(k) > 0$ .

Biaya transaksi yang dibayarkan didefinisikan sebagai  $\alpha$  dan  $\beta$ , di mana masing-masing menunjukkan biaya transaksi dalam pembelian dan biaya transaksi dalam penjualan saham. Persamaan (2.3) menunjukkan perubahan dari aset bebas risiko.

$$x_{n+1}(k+1) = [1 + r_1(k)][x_{n+1}(k) + v(k) - (1 - \alpha) \sum_{i=1}^n p_i(k) + (1 - \beta) \sum_{i=1}^n q_i(k)] \quad (2.3)$$

dengan

$r_1(k)$  = tingkat suku bunga bank

$v(k)$  = transfer antara rekening aset bebas risiko dan rekening pinjaman modal.

Apabila  $v(k) > 0$  menunjukkan bahwa investor meminjam modal, dan apabila  $v(k) < 0$  menunjukkan bahwa investor membayar kredit pinjaman. Perubahan dari pinjaman modal investor dapat dituliskan sebagai berikut

$$x_{n+2}(k+1) = [1 + r_2(k)][x_{n+2}(k) + v(k)] \quad (2.4)$$

dengan  $r_2(k)$  menunjukkan bunga dari pinjaman modal.

Berdasarkan penjelasan yang telah diuraikan di atas, jumlah seluruh modal dari seorang investor dalam portofolio saham dapat dituliskan sebagai berikut

$$V(k) = \sum_{i=1}^{n+1} x_i(k) - x_{n+2}(k). \quad (2.5)$$

Seperti yang terlihat pada Persamaan (2.5), jumlah modal dari investor merupakan penjumlahan dari kekayaan investor pada aset-aset berisiko serta aset bebas risiko yang dimiliki oleh investor dan dikurangi dengan pinjaman modal.

Pada pemodelan matematika dari manajemen portofolio saham, didefinisikan variabel *state* sistem adalah  $\tilde{\mathbf{x}}$ , yang meliputi  $x_1, \dots, x_n, x_{n+1}$ , dan  $x_{n+2}$ . Variabel  $x_1, \dots, x_n$  menunjukkan jumlah modal yang diinvestasikan oleh investor pada aset berisiko (saham) ke-1 sampai dengan ke- $n$ . Variabel  $x_{n+1}$  dan  $x_{n+2}$  masing-masing menunjukkan jumlah modal investor pada aset bebas risiko (bank) serta jumlah pinjaman. Variabel kontrol didefinisikan sebagai  $\tilde{\mathbf{u}}$  yang meliputi  $p_i, q_i$  dan  $v$ , dengan  $i = 1, 2, \dots, n$ . Variabel *output* sistem didefinisikan sebagai  $\tilde{\mathbf{y}}$  yang merupakan jumlah seluruh modal yang dimiliki oleh investor. Berdasarkan keterangan tersebut serta dengan menggunakan Persamaan (2.2) sampai dengan Persamaan (2.5), maka dapat dibentuk persamaan ruang keadaan diskrit sebagai berikut:

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+1) = \mathbf{A}\tilde{\mathbf{x}}(k) + \mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k) \quad (2.6)$$

$$\tilde{\mathbf{y}}(k) = \mathbf{C}\tilde{\mathbf{x}}(k) \quad (2.7)$$

dengan

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+1) = \begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ \vdots \\ x_n(k+1) \\ x_{n+1}(k+1) \\ x_{n+2}(k+1) \end{bmatrix}, \quad \tilde{\mathbf{u}}(k) = \begin{bmatrix} p_1(k) \\ \vdots \\ q_1(k) \\ \vdots \\ v(k) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 + \eta_1(k) & \cdots & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \cdots & 1 + \eta_i(k) & 0 & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 1 + r_1(k) & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & 1 + r_2(k) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 + \eta_1(k) & \cdots & 0 & -(1 + \eta_1(k)) & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & \cdots & 1 + \eta_i(k) & 0 & \cdots & -(1 + \eta_i(k)) & 0 \\ (1 + r_1(k))(-1 - \alpha) & \cdots & (1 + r_1(k))(-1 - \alpha) & (1 + r_1(k))(1 + \beta) & \cdots & (1 + r_1(k))(1 + \beta) & 1 + r_1(k) \\ 0 & \cdots & 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 + r_2(k) \end{bmatrix}$$



$$\mathbf{C} = [1 \ \dots \ 1 \ -1].$$

## 2.6 Kendala pada Portofolio Saham

Pada permasalahan optimisasi portofolio saham didefinisikan beberapa kendala sebagai berikut [10]:

$$p_i(k) \geq 0, \text{ dengan } i = 1, 2, \dots, n \quad (2.8)$$

$$q_i(k) \geq 0, \text{ dengan } i = 1, 2, \dots, n. \quad (2.9)$$

Selain itu, variabel *state*  $x_{n+1}$  yang merupakan jumlah modal yang dimiliki oleh investor di bank tidak mungkin bernilai negatif, sehingga didefinisikan kendala untuk variabel *state*  $x_{n+1}$  adalah sebagai berikut:

$$x_{n+1}(k) + v(k) - (1+\alpha) \sum_{i=1}^n p_i(k) + (1-\beta) \sum_{i=1}^n q_i(k) \geq 0. \quad (2.10)$$

Jumlah pinjaman modal yang disimbolkan dengan  $x_{n+2}$  memberikan kesempatan kepada investor untuk mendapatkan tambahan modal dengan tingkat bunga tertentu. Namun jumlah pinjaman yang diperbolehkan seharusnya dibatasi. Jumlah pinjaman modal haruslah lebih besar dari 0 dan memiliki nilai maksimum  $d_0(k)$ . Dengan demikian dapat didefinisikan kendala untuk *state*  $x_{n+2}$  adalah sebagai berikut:

$$x_{n+2}(k) + v(k) \geq 0 \quad (2.11)$$

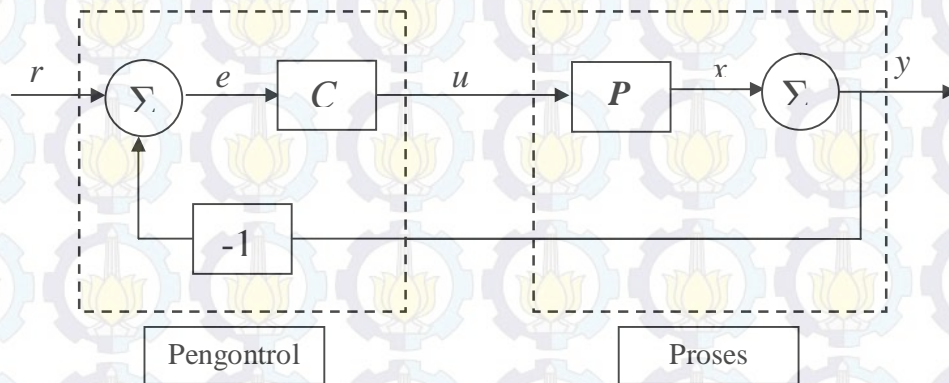
$$x_{n+2}(k) + v(k) \leq d_0(k). \quad (2.12)$$

Pada perdagangan saham dikenal pula istilah *short selling*, yaitu suatu cara yang digunakan dalam penjualan saham di mana para investor meminjam dana untuk menjual saham (yang belum dimiliki) dengan harga tinggi dan investor akan membelinya kembali saat harga saham turun. Namun dalam penelitian ini *short selling* tidak diperkenankan, sehingga didefinisikan kendala pada *short selling* sebagai berikut:

$$x_i(k) + p_i(k) - q_i(k) \geq 0. \quad (2.13)$$

## 2.7 Aplikasi Kontrol di Bidang Keuangan

Bentuk umum dari sistem kontrol secara umum ditunjukkan pada Gambar 2.1 [11].



Gambar 2.1. Sistem kontrol dengan *feedback*

Sistem tersebut dibagi ke dalam dua blok, dengan  $P$  merepresentasikan proses di dalam sistem dan  $C$  merepresentasikan pengontrol. Pertama-tama diberikan sinyal referensi  $r$  yang menunjukkan nilai yang diinginkan dari variabel *output*  $y$ , *feedback* direpresentasikan dengan nilai  $-1$ , dan sinyal  $e$  adalah eror yang terjadi akibat perbedaan nilai antara nilai yang diinginkan ( $r$ ) dengan *feedback* dari proses. Kemudian pengontrol ( $C$ ) bekerja untuk meminimalkan eror tersebut, dan menghasilkan sinyal kontrol  $u$ . Sinyal kontrol ini kemudian masuk ke dalam blok proses dan menghasilkan *state*  $x$ . Perhitungan ini berlangsung seterusnya dan berulang-ulang [11].

Tabel 2.1 Hubungan antara variabel kontrol sistem dengan variabel portofolio

| Variabel Kontrol | Variabel Portofolio  |
|------------------|--|
| $r$              | Jumlah seluruh aset yang diinginkan oleh investor  |
| $e$              | Selisih antara jumlah aset yang diinginkan dengan jumlah aset sebenarnya dari portofolio |
| $u$              | Transfer antara aset bebas risiko dan aset berisiko                                      |
| $P$              | Persamaan matematika dalam manajemen portofolio (Persamaan (2.2)-Persamaan (2.5))        |
| $C$              | Pengontrol   |
| $-1$             | <i>Feedback Control</i>  |



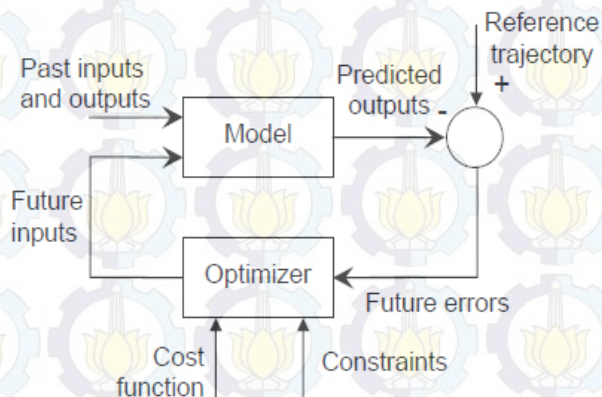
Berdasarkan model yang dijelaskan pada Bab 2.5, variabel-variabel dari model manajemen portofolio yang berkaitan dengan variabel kontrol dapat dijelaskan melalui Tabel 2.1. Strategi kontrol dalam menyelesaikan permasalahan ini terdapat dalam blok diagram C, ada cukup banyak metode kontrol yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan ini. Salah satunya adalah *model predictive control* yang akan dijelaskan pada Bab 2.8.

## 2.8 Model Predictive Control (MPC)

*Model predictive control* atau MPC adalah suatu metode proses kontrol lanjutan yang banyak diterapkan pada proses industri. Dari sekian banyak algoritma *multivariable control*, MPC adalah salah satunya [2].

Berikut adalah beberapa keuntungan dari *model predictive control* [4]:

- Dapat memperhitungkan batasan (*constraint*) pada sistem dalam merancang pengendali.
- Dapat menangani sistem *multivariable*.
- Mempunyai kemampuan pengendali *feed forward* untuk mengkompensasi gangguan yang terukur.



Gambar 2.2 Struktur dasar MPC [4]

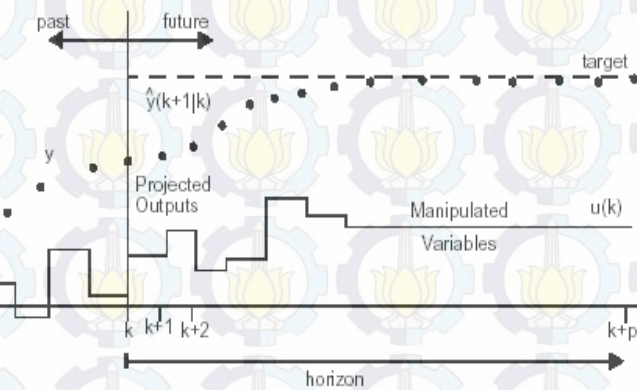
Langkah kerja dari MPC seperti yang terlihat pada Gambar 2.2 dapat diilustrasikan sebagai berikut: awalnya, sistem telah memiliki model dari *plant*. Data *input* dan *output* sebelumnya masuk melalui *port input* MPC. Dari *input* dan *output* ini dilakukan estimasi berdasarkan model *plant* yang telah didefinisikan sebelumnya. Estimasi ini menghasilkan output yang disebut *predicted output* yang kemudian nilainya dibandingkan dengan *reference trajectory*. Dari hasil perbandingan ini, akan diperoleh kesalahan yang disebut *future error*. *Future error* ini kemudian masuk ke dalam blok *optimizer*. Di sini, *optimizer* berfungsi untuk bekerja di dalam rentang *constraint* yang telah diberikan dengan tujuan untuk meminimalkan



*cost function*, yang merupakan fungsi kriteria yang dibentuk dari fungsi kuadrat kesalahan antara sinyal *predicted output* dengan *reference trajectory*.

MPC kemudian mengambil keputusan untuk meminimalkan *future error* tersebut dengan keputusan yang masih berada dalam *constraint* yang telah ditetapkan. Hasil dari blok ini disebut *future input* yang dikembalikan bersama-sama dengan data *input* dan *output* sebelumnya untuk diestimasi kembali. Perhitungan ini berlangsung seterusnya dan berulang-ulang. Karena adanya koreksi *input* berdasarkan *output* terprediksi inilah yang membuat MPC mampu bekerja menghasilkan respon yang semakin mendekati *reference trajectory* [2].

Keluaran proses dan pengendali terprediksi pada MPC menggunakan konsep *prediction horizon* yaitu seberapa jauh prediksi ke depan yang diharapkan. Hal ini dapat diilustrasikan pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kalkulasi keluaran proses dan pengendali terprediksi [4]

Gambar 2.3 menunjukkan respon sistem saat diberi pengendali MPC. Dapat dilihat bahwa respon mampu menghasilkan nilai yang mendekati *reference trajectory*, hal ini dikarenakan sinyal kendali yang mengalami perubahan setiap waktu berdasarkan *error* yang terjadi.

### 2.8.1 Model Predictive Control (MPC) Linier

Dalam MPC persamaan yang digunakan adalah persamaan dalam bentuk matriks ruang keadaan diskrit dan linier. Persamaan ruang keadaan diskrit yang digunakan adalah sebagai berikut [12]:

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+1|k) = \mathbf{A}\tilde{\mathbf{x}}(k|k) + \mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k|k) \quad (2.14)$$

$$\tilde{\mathbf{y}}(k|k) = \mathbf{C}\tilde{\mathbf{x}}(k|k) \quad (2.15)$$



dengan:

$\tilde{\mathbf{x}}(k|k)$  = vektor ruang keadaan berdimensi- $n$

$\tilde{\mathbf{y}}(k|k)$  = vektor keluaran terukur berdimensi- $n$

$\tilde{\mathbf{u}}(k|k)$  = vektor masukan berdimensi- $m$

$\mathbf{A}$  = matriks keadaan berdimensi  $n \times n$

$\mathbf{B}$  = matriks masukan berdimensi  $n \times m$

$\mathbf{C}$  = matriks keluaran berdimensi  $n \times n$

$a(m|n)$  menyatakan nilai  $a$  saat  $m$  yang diprediksi ketika berada dalam tahap  $n$ .

Untuk lebih memudahkan dalam penulisan,  $\tilde{\mathbf{x}}(k|k)$  bisa ditulis dalam bentuk  $\tilde{\mathbf{x}}(k)$ .

Dalam perhitungan prediksi keluaran dengan MPC, sinyal masukan yang digunakan adalah  $\tilde{\mathbf{u}}(k)$ . Oleh karena itu Persamaan (2.6) harus diubah bentuknya supaya terdapat unsur  $\tilde{\mathbf{u}}(k)$  di dalamnya. Hal pertama yang dilakukan adalah mencari prediksi dari Persamaan ruang keadaan (2.6) dengan melakukan iterasi terhadap persamaan tersebut sebagai berikut:

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+1|k) = \mathbf{A}\tilde{\mathbf{x}}(k) + \mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k) \quad (2.16)$$

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+2|k) = \mathbf{A}^2\tilde{\mathbf{x}}(k) + \mathbf{A}\mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k|k) + \mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k+1|k) \quad (2.17)$$

⋮

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+N|k) = \mathbf{A}^N\tilde{\mathbf{x}}(k) + \mathbf{A}^{N-1}\mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k|k) + \mathbf{A}^{N-2}\mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k+1|k) + \dots + \mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k+N-1|k) \quad (2.18)$$

### 2.8.2 Fungsi Kriteria Pada Model Predictive Control (MPC)

Pada tiap waktu  $k$ , didefinisikan *stage cost* [12]:

$$s(\tilde{\mathbf{x}}(k), \tilde{\mathbf{u}}(k)) = \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{x}}(k) \\ \tilde{\mathbf{u}}(k) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \mathbf{Q} & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{R} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{x}}(k) \\ \tilde{\mathbf{u}}(k) \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Berdasarkan Persamaan (2.19),  $\mathbf{Q}$  adalah matriks bobot kesalahan pada ruang keadaan berdimensi  $n \times n$ , sedangkan  $\mathbf{R}$  adalah matriks bobot pada kontrol berdimensi  $m \times m$ . Pada tiap waktu  $k$  terdapat kendala, yang didefinisikan sebagai berikut

$$\mathbf{F}_1\tilde{\mathbf{x}}(k) \leq \mathbf{f}_1 \quad (2.20)$$

$$\mathbf{F}_2\tilde{\mathbf{u}}(k) \leq \mathbf{f}_2 \quad (2.21)$$

$$\tilde{\mathbf{u}}(k)_{\min} \leq \tilde{\mathbf{u}}(k) \leq \tilde{\mathbf{u}}(k)_{\max} \quad (2.22)$$

dengan matriks  $\mathbf{F}_1$  berdimensi  $l \times n$ , matriks  $\mathbf{F}_2$  berdimensi  $o \times m$ , dan vektor  $\mathbf{f}_1$  berdimensi  $l \times 1$  serta vektor  $\mathbf{f}_2$  berdimensi  $o \times 1$ . Persamaan (2.20) merupakan kendala pada *state*, sedangkan persamaan (2.21) dan (2.22) merupakan kendala pada kontrol sistem.

### 2.8.3 Optimisasi Pada *Model Predictive Control* (MPC) Linier

Dengan menggunakan Persamaan (2.11), maka nilai kontrol pada tiap langkah waktu  $k$  dapat diperoleh dengan menyelesaikan optimisasi berikut ini [12]

$$\text{minimumkan } J(\tilde{\mathbf{u}}(k), \tilde{\mathbf{x}}(k)) = \sum_{j=1}^{N_p} \tilde{\mathbf{x}}^T(k+j) \mathbf{Q} \tilde{\mathbf{x}}(k+j) + \tilde{\mathbf{u}}^T(k+j) \mathbf{R} \tilde{\mathbf{u}}(k+j) \quad (2.23)$$

dengan kendala

$$\mathbf{F}_1 \tilde{\mathbf{x}}(j+1) \leq \mathbf{f}_1, j = k, k+1, \dots, k+N_p-1 \quad (2.24)$$

$$\mathbf{F}_2 \tilde{\mathbf{u}}(j) \leq \mathbf{f}_2, j = k, k+1, \dots, k+N_p-1 \quad (2.25)$$

$$\tilde{\mathbf{u}}(j)_{\min} \leq \tilde{\mathbf{u}}(j) \leq \tilde{\mathbf{u}}(j)_{\max}, j = k, k+1, \dots, k+N_p-1. \quad (2.26)$$

Penyelesaian masalah optimisasi pada Persamaan (2.23) akan menghasilkan penyelesaian optimal :

$$\{\tilde{\mathbf{u}}^*(k), \tilde{\mathbf{u}}^*(k+1), \tilde{\mathbf{u}}^*(k+2), \dots, \tilde{\mathbf{u}}^*(k+N_p-1)\}. \quad (2.27)$$

Dengan menggunakan prinsip *receding horizon* pada MPC, yakni nilai kontrol optimal yang diberikan pada sistem adalah vektor awal dari penyelesaian optimalnya, maka nilai kontrol yang diberikan pada Persamaan (2.14) adalah

$$\tilde{\mathbf{u}}(k) = \tilde{\mathbf{u}}^*(k) \quad (2.28)$$

dengan  $\tilde{\mathbf{u}}(k)$  merupakan nilai vektor kontrol pada saat ke  $k$ , sedangkan  $\tilde{\mathbf{u}}^*(k)$  adalah nilai kontrol optimal pada saat ke- $k$ .

## 2.9 Jakarta Islamic Index (JII)

Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data saham yang bersumber dari *Jakarta Islamic Index* (JII) yang merupakan indeks saham yang diluncurkan pada tanggal 3 Juli 2000



oleh Bursa Efek Indonesia (BEI) untuk memfasilitasi perdagangan saham dari perusahaan yang berbasis syariah islam. JII mengacu pada 30 saham yang sektor usahanya memenuhi prinsip Syariah Islam. Fatwa-fatwa DSN MUI tahun 2004 yang mengatur tentang prinsip-prinsip syariah di bidang pasar modal yang menyatakan bahwa suatu sekuritas/efek di pasar modal dipandang telah memenuhi prinsip-prinsip syariah apabila telah memperoleh pernyataan kesesuaian syariah secara tertulis dari DSN-MUI.

Saham-saham anggota JII tersebut dinilai dan harus memenuhi syarat yang ditetapkan oleh Dewan Syariah Nasional (DSN) MUI. Dengan demikian saham-saham yang masuk ke dalam JII-30 harus memenuhi unsur yang sama dengan indeks lainnya kecuali unsur haram dalam pandangan MUI. Unsur haram yang disyaratkan DSN MUI pada umumnya terkait dengan kegiatan bisnis, yaitu tidak melakukan kegiatan bisnis yang terkait: alkohol, perjudian, produksi dengan bahan baku babi, pornografi, jasa keuangan dan asuransi konvensional. Untuk memilih saham-saham yang layak menjadi anggota JII, dilakukan seleksi khusus sebagai berikut:

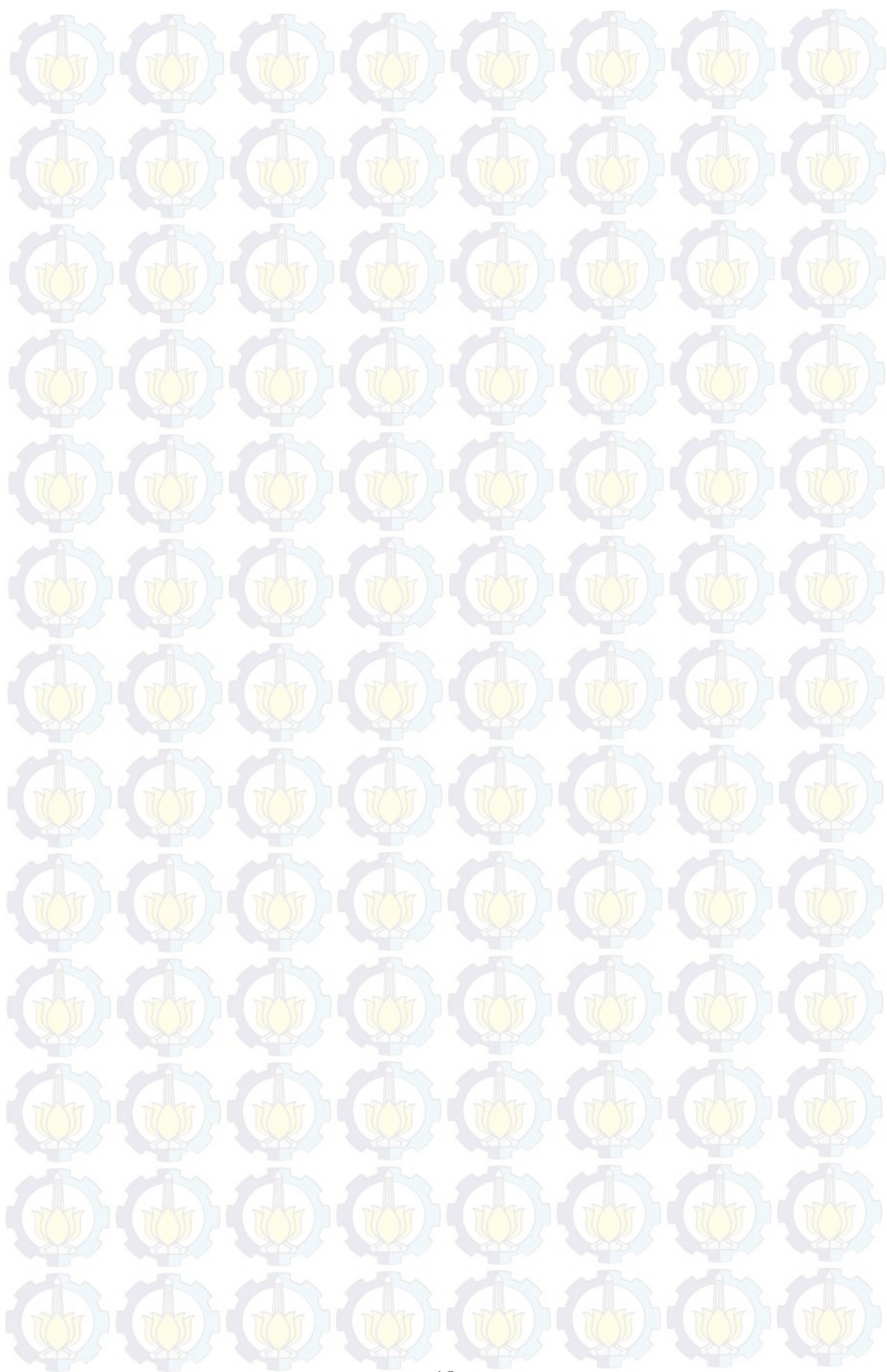
- BEJ memilih kumpulan saham yang memiliki usaha utama yang tidak bertentangan dengan syariah islam. Saham ini harus sudah tercatat di BEJ lebih dari 3 bulan, kecuali jika saham itu masuk dalam kelompok 10 saham dengan kapitalisasi pasar terbesar.
- BEJ memilih saham yang memiliki rasio kewajiban terhadap aktiva tidak melebihi 90%, berdasarkan laporan tahunan atau semesteran terakhir.
- BEJ memilih 60 saham dari saham-saham itu yang memiliki rata-rata kapitalisasi pasar terbesar dalam setahun terakhir.
- Seleksi terhadap 30 saham dari saham-saham sebelumnya yang memiliki nilai likuiditas perdagangan reguler rata-rata paling tinggi dalam setahun terakhir.

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa saham-saham yang masuk kriteria JII adalah saham-saham halal, yang operasionalnya tidak mengandung unsur *ribawi* dan struktur permodalan perusahaan bukan mayoritas dari hutang. Selain halal, saham-saham yang masuk dalam JII juga merupakan saham-saham yang paling besar kapitalisasi pasarnya, dan paling likuid. Saham-saham JII ini pada umumnya mempunyai struktur modal yang sehat dan tidak terbebani bunga hutang berlebihan, sehingga berpotensi meningkatkan keuntungan emiten dan terhindar dari beban keuangan jangka panjang.

Seperti indeks saham lainnya, indeks JII bersifat dinamis dalam arti secara periodik dilakukan *update* agar senantiasa responsif dengan pergerakan pasar dan sesuai dengan

syariah. Jika ada yang perlu diganti, setiap enam bulan - pada bulan Januari dan Juli - BEJ akan melakukan penggantian dan mengumumkan daftar anggota JII yang baru. Investor bisa menggunakan JII sebagai tolok ukur untuk mengukur kinerja portofolio investasi di saham-saham syariah. Pada penelitian ini data saham yang digunakan merupakan data saham harian sekunder yang didapatkan dari website *yahoo finance* [13].





## BAB 3

### METODA PENELITIAN

Pada bagian ini diuraikan beberapa tahapan yang dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian. Adapun tahapan-tahapan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

#### 3.1 Studi Literatur

Pada tahap ini, studi literatur dilakukan untuk mendapatkan informasi mengenai model matematika dari manajemen portofolio saham. Agar portofolio saham yang terbentuk berada dalam batas *constraint* yang ditetapkan, maka diperlukan pengendali yang dapat mengatasi batasan tersebut. Dalam hal ini, penulis menggunakan *model predictive control* (MPC) sebagai pengendali. Studi literatur juga dilakukan untuk mendapatkan informasi terkait teori pada MPC serta algoritma pada MPC. Tahap studi literatur dilakukan melalui pengkajian pada beberapa buku-buku literatur dan jurnal terkait.

#### 3.2 Pengumpulan Data Penelitian

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data mengenai studi kasus yang digunakan pada penelitian ini, yaitu data saham ketiga perusahaan yang tergabung dalam *Jakarta Islamic Index* (JII), yaitu Unilever, Perusahaan Gas Negara, dan Semen Indonesia. Data ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari *Yahoo Finance* mulai tanggal 31 Mei 2013 sampai dengan tanggal 30 Mei 2014. Setelah mendapatkan data saham harian dari ketiga perusahaan tersebut, selanjutnya dihitung nilai *return* saham harian dari tiap-tiap perusahaan.

#### 3.3 Analisis Pengendali *Model Predictive Control*

Pada tahap ini, dengan menggunakan parameter-parameter yang bersumber dari data selanjutnya diperoleh persamaan ruang keadaan diskrit. Langkah berikutnya adalah dengan memberikan nilai *state* dan kontrol awal, sehingga didapatkan nilai *output* awal dari sistem. Selanjutnya didefinisikan kendala pada sistem, yaitu kendala yang terdapat pada *state* dan kontrol. Setelah pemberian nilai awal dan pendefinisian kendala pada sistem, berikutnya akan dibandingkan nilai *output* dengan nilai *reference trajectory* yang telah ditetapkan sebelumnya, sehingga terdapat *error*. Nilai *error* ini diminimumkan



dengan menggunakan pengendali MPC melalui proses optimisasi. Proses tersebut bekerja dengan meminimalkan *error* pada fungsi objektif, yaitu fungsi kriteria yang dibentuk dari fungsi kuadratik antara *output* dengan *reference trajectory*. Fungsi objektif ini bekerja dalam rentang *constraint* yang telah ditetapkan. Hasil optimisasi ini menghasilkan nilai kontrol optimal  $\tilde{u}^*$  dan disebut dengan *future input*. Nilai *input* tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam persamaan ruang keadaan sehingga didapatkan nilai *state* dan *output* sistem pada waktu berikutnya. Perhitungan ini berlangsung secara terus-menerus dan berulang hingga nilai *output* dari sistem mengikuti *reference trajectory* yang ditetapkan sampai rentang waktu yang telah ditentukan.

### 3.4 Simulasi

Pada tahap ini nilai kontrol optimal yang didapatkan merupakan hasil optimisasi dengan menggunakan *subroutine quadprog* yang berada pada *software* MATLAB. Nilai kontrol optimal ini selanjutnya diinputkan ke dalam *state* sistem, sehingga dapat ditampilkan grafik kontrol, *state*, serta *output* dari sistem berdasarkan pengendali yang telah dirancang sebelumnya.

### 3.5 Pembahasan

Setelah mengetahui hasil simulasi yang didapatkan pada tahap sebelumnya, pada tahap ini dilakukan pembahasan serta analisis hasil simulasi. Selanjutnya akan ditarik kesimpulan dari penelitian berdasarkan hasil yang diperoleh.

### 3.6 Penyusunan Hasil Penelitian

Pada tahap ini dilakukan pembuatan laporan hasil penelitian di mulai dari Halaman Judul, Abstrak, Daftar Isi, Bab 1 sampai dengan Bab 5, dan Daftar Pustaka.



## BAB 4

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah pada bab sebelumnya telah diketahui langkah-langkah analisis pengendali, pada bab ini dibahas penyelesaian optimisasi pada portofolio saham dengan menggunakan *model predictive control*, kemudian sistem pengendali tersebut disimulasikan dengan menggunakan *software* MATLAB.

#### 4.1. Pemodelan Matematika pada Manajemen dan Kendala Portofolio Saham

Pada penelitian ini, data saham yang digunakan adalah data saham harian sekunder dari 3 perusahaan dengan kapitalisasi pasar terbesar (Unilever, Perusahaan Gas Negara, Semen Indonesia) yang tergabung dalam *Jakarta Islamic Index* (JII) mulai tanggal 31 Mei 2013 sampai dengan tanggal 30 Mei 2014. Berdasarkan data tersebut dan dengan menggunakan Persamaan (2.2) sampai dengan Persamaan (2.5), maka didefinisikan variabel *state* adalah  $\tilde{x}$  yang meliputi  $x_1, x_2, x_3, x_4$  dan  $x_5$ , dengan

$x_1$  = jumlah modal yang diinvestasikan oleh investor pada saham Unilever

$x_2$  = jumlah modal yang diinvestasikan oleh investor pada saham Perusahaan Gas Negara

$x_3$  = jumlah modal yang diinvestasikan oleh investor pada saham Semen Indonesia

$x_4$  = jumlah modal investor pada aset bebas risiko (bank)

$x_5$  = jumlah pinjaman investor.

Variabel kontrol pada sistem didefinisikan sebagai  $\tilde{u}$  yang meliputi  $p_1, p_2, p_3, q_1, q_2, q_3$  dan  $v$ , dengan

$p_1$  = jumlah transfer dari rekening bank untuk pembelian saham Unilever

$p_2$  = jumlah transfer dari rekening bank untuk pembelian saham Perusahaan Gas Negara

$p_3$  = jumlah transfer dari rekening bank untuk pembelian saham Semen Indonesia

$q_1$  = jumlah transfer hasil penjualan saham Unilever ke rekening bank

$q_2$  = jumlah transfer hasil penjualan saham Perusahaan Gas Negara ke rekening bank

$q_3$  = jumlah transfer hasil penjualan saham Semen Indonesia ke rekening bank

$v$  = transfer antara rekening bank dan rekening pinjaman.

Variabel *output* sistem didefinisikan sebagai  $\tilde{y}$  yang merupakan jumlah seluruh modal yang dimiliki oleh investor dengan  $\tilde{y} = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 - x_5$ .



Berdasarkan keterangan tersebut serta dengan menggunakan Persamaan (2.6) dan Persamaan (2.7), maka dapat dibentuk persamaan ruang keadaan diskrit sebagai berikut

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+1|k) = \mathbf{A}\tilde{\mathbf{x}}(k|k) + \mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k|k) \quad (4.1)$$

$$\tilde{\mathbf{y}}(k|k) = \mathbf{C}\tilde{\mathbf{x}}(k|k) \quad (4.2)$$

dengan

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+1) = \begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \\ x_3(k+1) \\ x_4(k+1) \\ x_5(k+1) \end{bmatrix}, \quad \tilde{\mathbf{x}}(k) = \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \\ x_4(k) \\ x_5(k) \end{bmatrix}, \quad \tilde{\mathbf{u}}(k) = \begin{bmatrix} p_1(k) \\ p_2(k) \\ p_3(k) \\ q_1(k) \\ q_2(k) \\ q_3(k) \\ v(k) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 + \eta_1(k) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 + \eta_2(k) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 + \eta_3(k) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 + r_1(k) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 + r_2(k) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 + \eta_1(k) & 0 & 0 & -(1 + \eta_1(k)) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 + \eta_2(k) & 0 & 0 & -(1 + \eta_2(k)) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 + \eta_3(k) & 0 & 0 & -(1 + \eta_3(k)) & 0 \\ (1 + r_1(k))(-1 - \alpha) & (1 + r_1(k))(-1 - \alpha) & (1 + r_1(k))(-1 - \alpha) & (1 + r_1(k))(1 + \beta) & (1 + r_1(k))(1 + \beta) & (1 + r_1(k))(1 + \beta) & 1 + r_1(k) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 + r_2(k) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C} = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -1].$$

## 4.2. Penerapan MPC Pada Optimisasi Portofolio Saham

Pada MPC, pengendalian dilakukan secara prediktif. Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 2, dalam MPC akan diperkirakan suatu nilai  $a$  pada saat  $m$  ketika berada dalam tahap  $n$ . Berikut ini akan diberikan beberapa langkah untuk menyelesaikan permasalahan optimisasi portofolio saham.

### 4.2.1 Inisialisasi Awal

Parameter-parameter yang digunakan pada portofolio saham dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data parameter portofolio saham

| Variabel           | Nilai                       |
|--------------------|-----------------------------|
| $\alpha$           | 0,0002                      |
| $\beta$            | 0,0002                      |
| $r_1$              | 0,00003                     |
| $r_2$              | 0,00031                     |
| $d_0(k)$           | $5 \times 10^8$             |
| $\mathbf{x}(0)$    | $[0,0,0,1 \times 10^8,0]^T$ |
| $Np$               | 10                          |
| $Q$                | 1                           |
| $R$                | 0,1                         |
| $r(k)$             | $1 \times 10^9$             |
| $p_i \text{ max}$  | $1 \times 10^8$             |
| $q_i \text{ max}$  | $1 \times 10^8$             |
| $v(k) \text{ max}$ | $1 \times 10^8$             |
| $v(k) \text{ min}$ | $-1 \times 10^8$            |

Pada tahap inisialisasi awal, diberikan nilai kontrol awal yaitu  $p_i(0) = 0$ , untuk  $i = 1,2,3$ ,  $q_i(0) = 0$ , untuk  $i = 1,2,3$ , dan  $v(0) = 0$ , serta nilai *state* awal  $[x_1(0), x_2(0), x_3(0), x_4(0), x_5(0)]^T = [0,0,0,1 \times 10^8,0]^T$ . Pada kondisi awal seluruh modal yang dimiliki oleh investor diinvestasikan ke dalam aset bebas risiko (bank). Nilai  $d_0(k)$  dipilih  $5 \times 10^8$  dengan tujuan untuk memberikan kesempatan kepada investor meminjam sejumlah dana ketika dibutuhkan. Untuk mempermudah penulisan, saham Unilever selanjutnya disebut saham ke-1, saham Perusahaan Gas Negara disebut saham ke-2, dan saham Semen Indonesia disebut saham ke-3.

Dalam kajian sistem kontrol, suatu sistem dikatakan terkontrol jika untuk setiap keadaan sebarang  $\tilde{\mathbf{x}}(0) = \tilde{\mathbf{x}}_0$ , ada masukan  $\tilde{\mathbf{u}}(t)$  yang tidak dibatasi mentransfer keadaan  $\tilde{\mathbf{x}}_0$  ke sebarang keadaan akhir  $\tilde{\mathbf{x}}_k$  dengan waktu akhir  $k$  berhingga. Pada Persamaan (4.1) dan dengan menggunakan data dari parameter dapat diketahui nilai dari matriks **A** dan **B**. Selanjutnya didapatkan bahwa matriks  $[\mathbf{B} \mid \mathbf{AB} \mid \mathbf{A}^2\mathbf{B} \mid \mathbf{A}^3\mathbf{B} \mid \mathbf{A}^4\mathbf{B}]$  memiliki rank 5, yang berarti bahwa sistem dalam keadaan terkontrol. Hal inilah yang memungkinkan penerapan MPC linier dalam permasalahan optimisasi portofolio saham. Berikutnya, dengan menggunakan data dari parameter dan Persamaan (4.1) serta Persamaan (4.2) didapatkan bahwa matriks  $[\mathbf{C}, \mathbf{CA}, \mathbf{CA}^2, \mathbf{CA}^3, \mathbf{CA}^4]^T$  memiliki rank 5. Hal ini berarti sistem teramati.



#### 4.2.2 Perhitungan Kendala pada Portofolio Saham

Berdasarkan Persamaan (2.8) sampai dengan Persamaan (2.13) dan dengan menggunakan parameter-parameter yang terdapat pada Tabel 4.1, maka kendala pada setiap waktu  $k$  pada portofolio saham dapat dituliskan kembali menjadi:

$$0 \leq p_i(k) \leq 1 \times 10^8, \text{ dengan } i = 1, 2, 3 \quad (4.3)$$

$$0 \leq q_i(k) \leq 1 \times 10^8, \text{ dengan } i = 1, 2, 3 \quad (4.4)$$

$$-1 \times 10^8 \leq v(k) \leq 1 \times 10^8 \quad (4.5)$$

$$0 \leq x_5(k) + v(k) \leq 5 \times 10^8 \quad (4.6)$$

$$x_4(k) + v(k) - (1 + \alpha) \sum_{i=1}^3 p_i(k) + (1 - \beta) \sum_{i=1}^3 q_i(k) \geq 0 \quad (4.7)$$

$$x_i(k) + p_i(k) - q_i(k) \geq 0, \text{ dengan } i = 1, 2, 3. \quad (4.8)$$

Bentuk Pertidaksamaan (4.3) sampai dengan Pertidaksamaan (4.8) dapat dituliskan kembali dalam bentuk matriks sebagai berikut

$$\mathbf{P}_1 \tilde{\mathbf{u}}(k) \leq \mathbf{h}_1 \quad (4.9)$$

$$\mathbf{b}_1 \leq \mathbf{S}_1 \tilde{\mathbf{u}}(k) \leq \mathbf{b}_2 \quad (4.10)$$

dengan

$$\tilde{\mathbf{u}}(k) = [p_1(k), p_2(k), p_3(k), q_1(k), q_2(k), q_3(k), v(k)]^T$$

$$\mathbf{P}_1 = \begin{bmatrix} 1 + \alpha & 1 + \alpha & 1 + \alpha & -(1 - \beta) & -(1 - \beta) & -(1 - \beta) & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{h}_1 = [x_4(k), x_5(k), 5 \times 10^8 - x_5(k), x_1(k), x_2(k), x_3(k)]^T$$

$$\mathbf{S}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{b}_1 = [0,0,0,0,0,0,(-1 \times 10^8)]^T$$

$$\mathbf{b}_2 = [1 \times 10^8, 1 \times 10^8, 1 \times 10^8, 1 \times 10^8, 1 \times 10^8, 1 \times 10^8, 1 \times 10^8]^T.$$

#### 4.2.3 Prediksi Kontrol Optimal dengan MPC

Berdasarkan Persamaan (2.23) serta dengan menggunakan Persamaan (4.1) dan Persamaan (4.2), maka didefinisikan fungsi objektif sebagai berikut

$$J(\tilde{\mathbf{u}}(k), \tilde{\mathbf{e}}(k)) = \sum_{j=1}^{N_p} \tilde{\mathbf{e}}^T(k+j) \mathbf{Q} \tilde{\mathbf{e}}(k+j) + \sum_{j=1}^{N_p} \tilde{\mathbf{u}}^T(k+j) \mathbf{R} \tilde{\mathbf{u}}(k+j) \quad (4.11)$$

dengan  $\tilde{\mathbf{e}}(k+j) = \tilde{\mathbf{y}}(k) - \mathbf{r}(k)$ ,  $\mathbf{r}(k)$  adalah *reference trajectory* yang berupa target total modal yang diinginkan oleh investor. Berdasarkan data pada Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa nilai  $\mathbf{r}(k)$  adalah  $1 \times 10^9$ ,  $N_p$  menunjukkan *prediction horizon*,  $\tilde{\mathbf{u}}(k+j)$  menunjukkan kontrol dari sistem pada saat langkah ke- $k+j$ , dan  $\tilde{\mathbf{e}}(k+j)$  menunjukkan eror pada saat langkah ke- $k+j$ . Pada simulasi dipilih nilai  $N_p$  adalah 10. Matriks  $\mathbf{Q}$  dan  $\mathbf{R}$  masing-masing merupakan matriks bobot semi definit positif yang berkaitan dengan  $\tilde{\mathbf{e}}$  dan  $\tilde{\mathbf{u}}$ .

Metode pengendalian optimal yang digunakan pada MPC linier ini memiliki bentuk *quadratic programming* (QP), sehingga fungsi objektif pada Persamaan (4.11) dapat dituliskan kembali dalam bentuk QP standar sebagai berikut

$$J(\hat{\mathbf{u}}(k)) = \hat{\mathbf{u}}^T(k) \mathbf{H} \hat{\mathbf{u}}(k) + 2\mathbf{f}^T \hat{\mathbf{u}}(k) \quad (4.12)$$

dengan

$$\mathbf{H} = (\hat{\mathbf{B}}^T \hat{\mathbf{Q}} \hat{\mathbf{B}} + \hat{\mathbf{R}})$$

$$\mathbf{f} = (\hat{\mathbf{B}}^T \hat{\mathbf{Q}} (\hat{\mathbf{A}} \hat{\mathbf{x}}(k) - \mathbf{r}(k)))$$

$$\hat{\mathbf{u}}(k) = [\tilde{\mathbf{u}}(k|k), \tilde{\mathbf{u}}(k+1|k), \dots, \tilde{\mathbf{u}}(k+N_p-1|k)]^T$$

$$\hat{\mathbf{B}} = \begin{bmatrix} \mathbf{CB} & \mathbf{0}_{1 \times 7} & \mathbf{0}_{1 \times 7} & \mathbf{0}_{1 \times 7} & \dots & \mathbf{0}_{1 \times 7} \\ \mathbf{CAB} & \mathbf{CB} & \mathbf{0}_{1 \times 7} & \mathbf{0}_{1 \times 7} & \dots & \mathbf{0}_{1 \times 7} \\ \mathbf{CA}^2 \mathbf{B} & \mathbf{CAB} & \mathbf{CB} & \mathbf{0}_{1 \times 7} & \dots & \mathbf{0}_{1 \times 7} \\ \mathbf{CA}^3 \mathbf{B} & \mathbf{CA}^2 \mathbf{B} & \mathbf{CAB} & \mathbf{CB} & \dots & \mathbf{0}_{1 \times 7} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{CA}^{N_p-1} \mathbf{B} & \mathbf{CA}^{N_p-2} \mathbf{B} & \mathbf{CA}^{N_p-3} \mathbf{B} & \mathbf{CA}^{N_p-4} \mathbf{B} & \dots & \mathbf{CB} \end{bmatrix}_{N_p \times 7N_p} \quad \hat{\mathbf{A}} = \begin{bmatrix} \mathbf{CA} \\ \mathbf{CA}^2 \\ \mathbf{CA}^3 \\ \mathbf{CA}^4 \\ \vdots \\ \mathbf{CA}^{N_p} \end{bmatrix}_{N_p \times 5}$$



$$\hat{Q} = \begin{bmatrix} Q & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & Q & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & Q & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & Q & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & Q \end{bmatrix}_{Np \times Np} \quad \hat{R} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & R & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & R & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & R & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & R \end{bmatrix}_{7Np \times 7Np}$$

$$\mathbf{0}_{1 \times 7} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0].$$

Dengan menggunakan Persamaan (4.12), maka prediksi nilai kontrol optimal didapatkan dengan menyelesaikan permasalahan optimisasi dalam bentuk *quadratic programming* sebagai berikut

$$\text{minimumkan} \quad J(\hat{\mathbf{u}}(k)) = \hat{\mathbf{u}}^T(k) \mathbf{H} \hat{\mathbf{u}}(k) + 2\mathbf{f}^T \hat{\mathbf{u}}(k) \quad (4.13)$$

dengan kendala

$$\mathbf{P} \hat{\mathbf{u}}(k) \leq \mathbf{h} \quad (4.14)$$

$$\mathbf{B}_1 \leq \mathbf{S} \hat{\mathbf{u}}(k) \leq \mathbf{B}_2 \quad (4.15)$$

dan

$$\hat{\mathbf{u}}(k) = [\tilde{\mathbf{u}}(k|k), \tilde{\mathbf{u}}(k+1|k), \dots, \tilde{\mathbf{u}}(k+N_p-1|k)]^T$$

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_1 & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \cdots & \mathbf{0}_{6 \times 7} \\ \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{P}_1 & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \cdots & \mathbf{0}_{6 \times 7} \\ \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{P}_1 & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \cdots & \mathbf{0}_{6 \times 7} \\ \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{P}_1 & \cdots & \mathbf{0}_{6 \times 7} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \mathbf{0}_{6 \times 7} & \cdots & \mathbf{P}_1 \end{bmatrix}_{6Np \times 7Np}, \quad \mathbf{h} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_1 \\ \mathbf{h}_1 \\ \mathbf{h}_1 \\ \mathbf{h}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{h}_1 \end{bmatrix}_{6Np \times 1}$$

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_1 & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \cdots & \mathbf{0}_{7 \times 7} \\ \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{S}_1 & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \cdots & \mathbf{0}_{7 \times 7} \\ \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{S}_1 & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \cdots & \mathbf{0}_{7 \times 7} \\ \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{S}_1 & \cdots & \mathbf{0}_{7 \times 7} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \mathbf{0}_{7 \times 7} & \cdots & \mathbf{S}_1 \end{bmatrix}_{7Np \times 7Np}, \quad \mathbf{B}_1 = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_1 \\ \mathbf{b}_1 \\ \mathbf{b}_1 \\ \mathbf{b}_1 \\ \vdots \\ \mathbf{b}_1 \end{bmatrix}_{7Np \times 1}, \quad \mathbf{B}_2 = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_2 \\ \mathbf{b}_2 \\ \mathbf{b}_2 \\ \mathbf{b}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{b}_2 \end{bmatrix}_{7Np \times 1}$$

$\mathbf{0}_{6 \times 7}$  = matriks nol berukuran  $6 \times 7$

$\mathbf{0}_{7 \times 7}$  = matriks nol berukuran  $7 \times 7$ .

Penyelesaian optimal dari permasalahan optimisasi pada Persamaan (4.13) adalah

$$\{\tilde{\mathbf{u}}^*(k), \tilde{\mathbf{u}}^*(k+1), \tilde{\mathbf{u}}^*(k+2), \dots, \tilde{\mathbf{u}}^*(k+N_p-1)\} \quad (4.16)$$

Dengan menggunakan prinsip *receding horizon* pada MPC, yakni nilai kontrol optimal yang diinputkan pada sistem adalah vektor awal dari penyelesaian optimalnya, maka nilai kontrol yang diberikan pada Persamaan (4.1) adalah

$$\tilde{\mathbf{u}}(k) = \tilde{\mathbf{u}}^*(k) \quad (4.17)$$

dengan  $\tilde{\mathbf{u}}(k)$  merupakan nilai vektor kontrol pada saat ke- $k$  dan  $\tilde{\mathbf{u}}^*(k)$  merupakan nilai kontrol optimal pada saat ke- $k$ .

#### 4.2.4 Portofolio Saham yang Optimal

Setelah didapatkan nilai kontrol optimal yang berasal dari hasil perhitungan menggunakan *quadratic programming*, langkah selanjutnya memasukkan nilai kontrol tersebut ke dalam Persamaan (4.1) dan Persamaan (4.2)

$$\begin{aligned} \tilde{\mathbf{x}}(k+1|k) &= \mathbf{A}\tilde{\mathbf{x}}(k|k) + \mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k|k) \\ \tilde{\mathbf{y}}(k|k) &= \mathbf{C}\tilde{\mathbf{x}}(k|k). \end{aligned}$$

Berdasarkan algoritma MPC, dengan dimasukkannya nilai kontrol optimal ke dalam *state* maka diperoleh nilai prediksi *state* pada langkah selanjutnya ( $\tilde{\mathbf{x}}(k+1|k)$ ). Setelah mendapatkan nilai prediksi *state*, maka selanjutnya juga didapatkan nilai *output* sistem. Setelah itu nilai dari *output* tersebut dimasukkan ke dalam perhitungan optimisasi berikutnya untuk mendapatkan nilai kontrol optimal selanjutnya. Begitu seterusnya sampai nilai *output* dari sistem mengikuti *reference trajectory* yang ditetapkan.

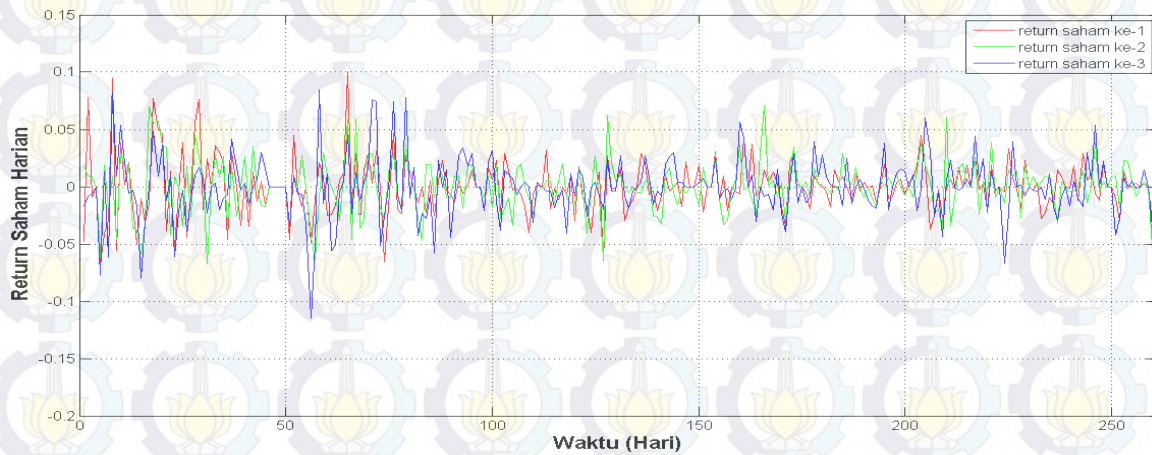
### 4.3. Hasil Simulasi pada Optimisasi Portofolio Saham dengan Pinjaman

Dari hasil analisis pengontrol MPC yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, selanjutnya pada bab ini ditampilkan hasil simulasi dengan menggunakan *software* Matlab. Tujuan dari optimisasi portofolio saham dengan menggunakan metode MPC adalah membuat *output* dari sistem, dalam hal ini merupakan total seluruh modal yang dimiliki oleh investor,



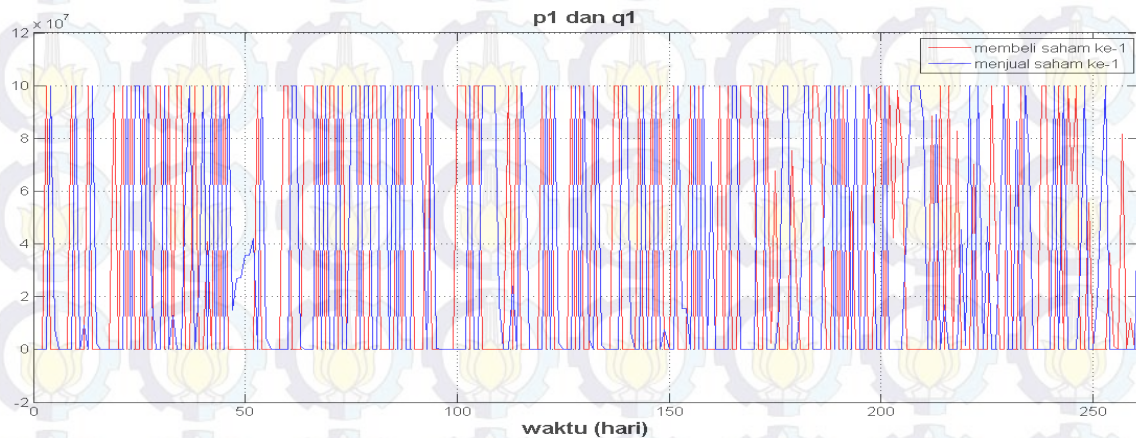
terus bertambah setiap harinya dengan mengikuti *reference trajectory* yang ditetapkan serta menjaga kontrol dan *state* dari sistem agar tetap berada dalam batas *constraint* yang ditetapkan.

Gambar 4.1 menunjukkan *return* saham harian dari ketiga perusahaan yang dijadikan objek penelitian.

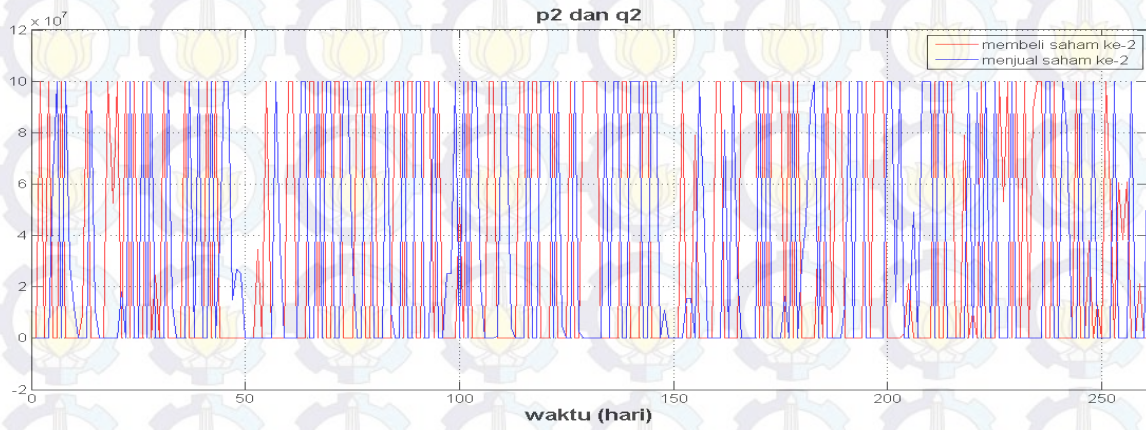


Gambar 4.1 *Return* saham harian pada tiga perusahaan

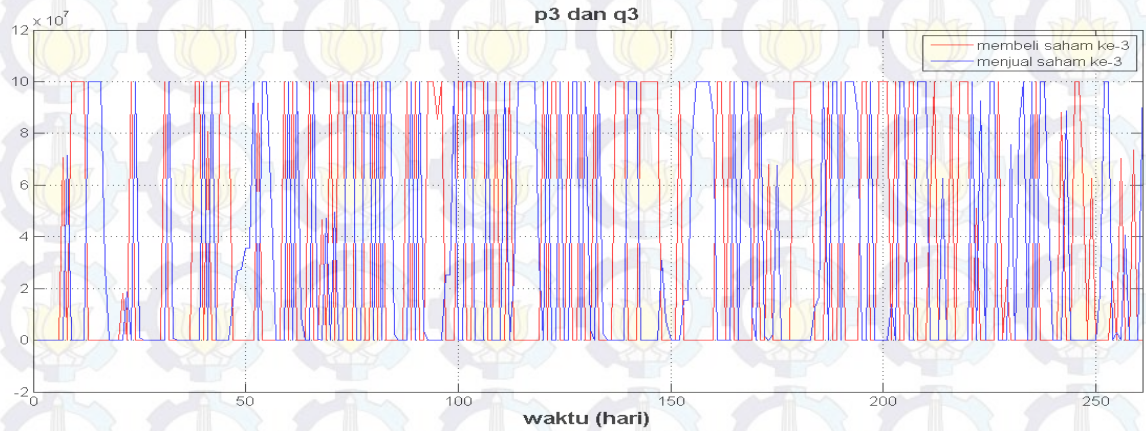
Hasil simulasi pada kontrol dari sistem dapat dilihat pada Gambar 4.2 sampai dengan Gambar 4.5.



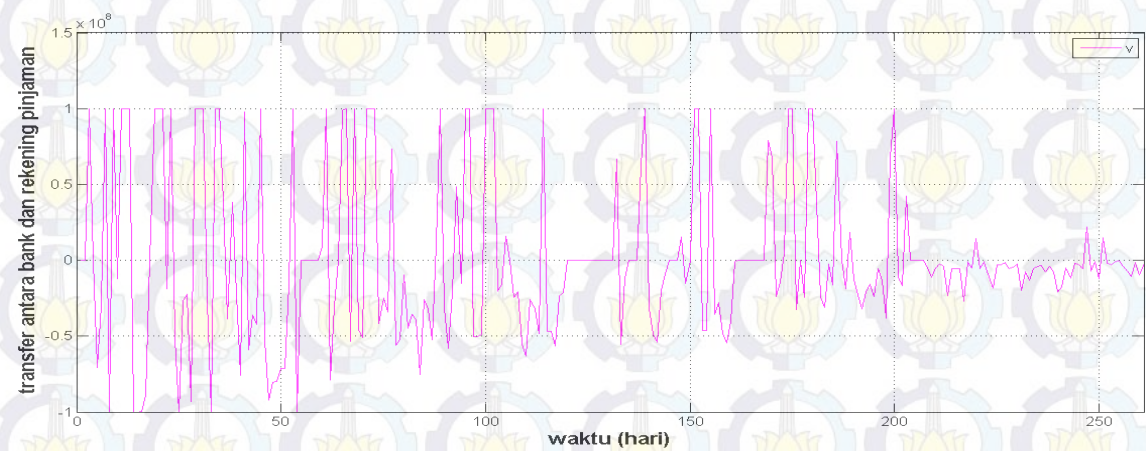
Gambar 4.2 Nilai  $p_1$  dan  $q_1$  di dalam portofolio saham dengan pinjaman



Gambar 4.3 Nilai  $p_2$  dan  $q_2$  di dalam portofolio saham dengan pinjaman



Gambar 4.4 Nilai  $p_3$  dan  $q_3$  di dalam portofolio saham dengan pinjaman



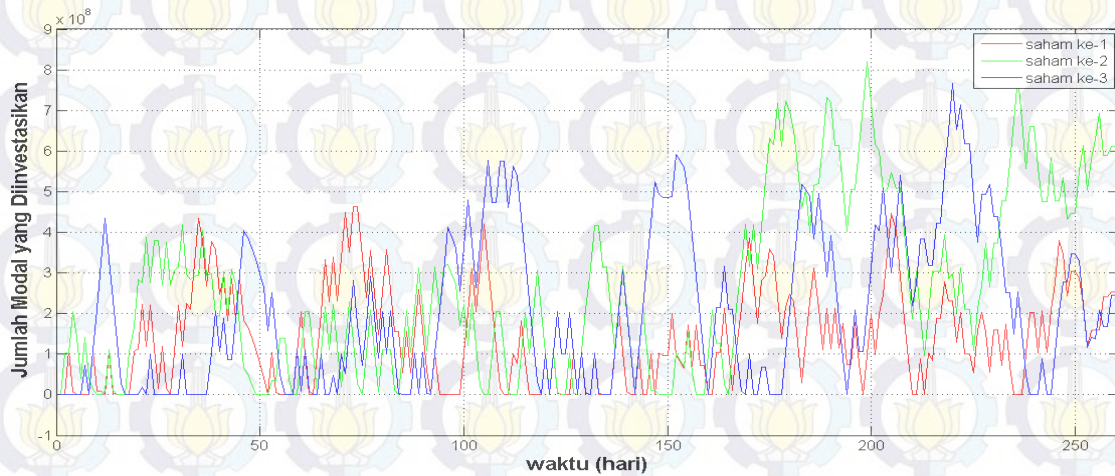
Gambar 4.5 Nilai  $v$  di dalam portofolio saham dengan pinjaman



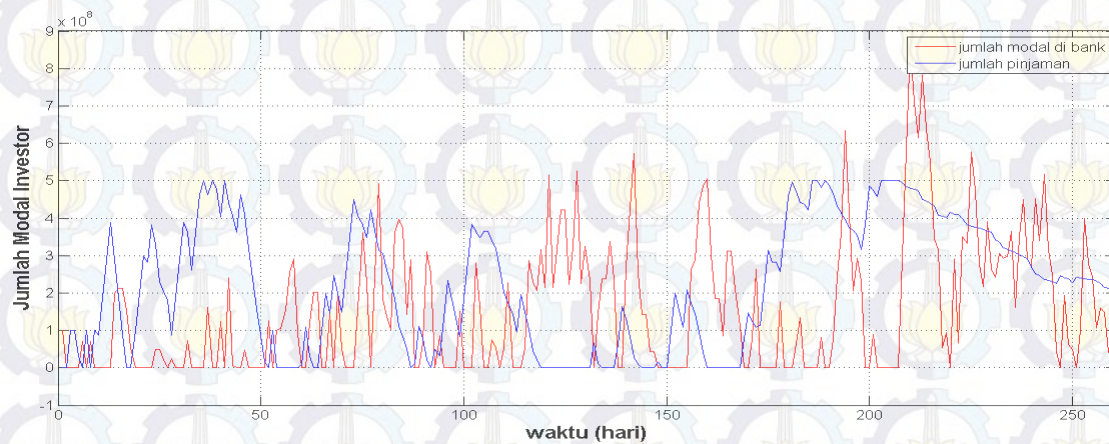
Berdasarkan Gambar 4.2 sampai dengan Gambar 4.4 diketahui bahwa nilai seluruh kontrol dari sistem, yaitu transfer uang yang digunakan untuk membeli dan menjual saham berada dalam batas *constraint* yang diberikan. Seluruh nilai  $p_1(k)$ ,  $p_2(k)$ ,  $p_3(k)$ ,  $q_1(k)$ ,  $q_2(k)$ , dan  $q_3(k)$  berada diantara nilai minimumnya yaitu 0, dan nilai maksimumnya yaitu  $1 \times 10^8$ . Gambar 4.5 menunjukkan transfer antara rekening investor di bank dan rekening pinjaman.

Nilai dari  $v(k)$  berada dalam rentang  $-1 \times 10^8$  dan  $1 \times 10^8$ . Nilai positif pada  $v(k)$  menunjukkan bahwa investor mendapatkan pinjaman modal yang dapat digunakan untuk membeli saham. Sedangkan nilai negatif pada  $v(k)$  menunjukkan bahwa investor membayarkan kembali modal yang telah ia pinjam sebelumnya. Nilai *reference trajectory* yang besar menyebabkan kontrol dari sistem selalu berusaha mencapai nilai maksimumnya.

Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 menunjukkan perubahan modal yang dimiliki oleh investor pada masing-masing saham, bank, serta pada pinjaman.



Gambar 4.6 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko di dalam portofolio saham dengan pinjaman



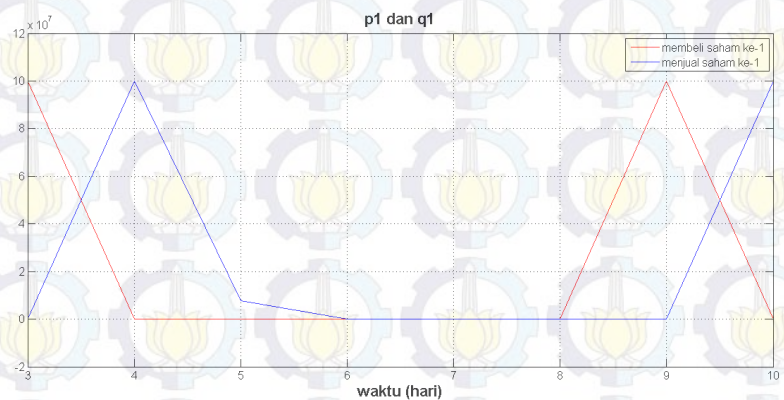
Gambar 4.7 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko serta pinjaman di dalam portofolio saham dengan pinjaman

Berdasarkan Gambar 4.6 terlihat bahwa nilai *return* saham harian berpengaruh terhadap jumlah modal yang diinvestasikan pada masing-masing saham setiap harinya. Pengontrol MPC berusaha untuk meminimalkan kerugian yang akan terjadi pada investor ketika harga saham pada salah satu atau ketiga perusahaan mengalami penurunan. Berdasarkan Gambar 4.7 terlihat bahwa perubahan pada aset bebas risiko dan jumlah pinjaman memiliki korelasi yang sangat besar. Pengontrol MPC bertindak sebagai pengambil keputusan mengenai kapan waktu yang tepat untuk meminjam modal dan kapan waktu yang tepat untuk mengembalikan modal. Ketika jumlah uang di bank akan mencapai 0 atau ketika investor membutuhkan tambahan modal untuk menutupi biaya transaksi yang diperlukan dalam membentuk portofolio saham, maka pengontrol MPC mengambil keputusan untuk meminjam sejumlah dana pada rekening pinjaman.

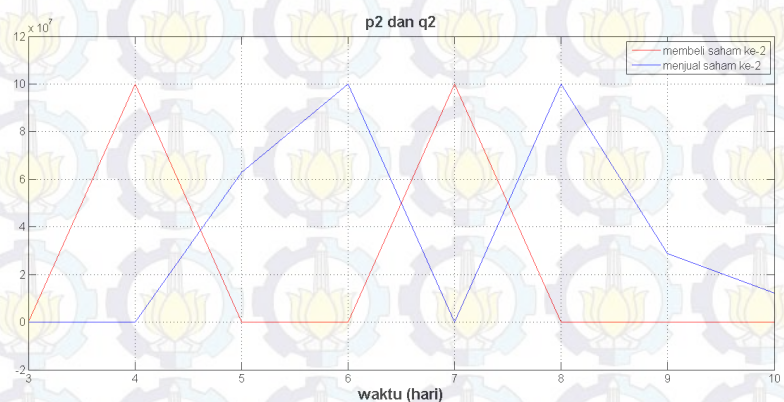
#### 4.3.1 Hasil Simulasi Portofolio Saham dengan Pinjaman pada Hari ke-3 sampai Hari ke-10

Nilai dari seluruh *state*, kontrol, serta *output* dari sistem untuk hari ke-3 (6 Juni 2013) sampai dengan hari ke-10 (13 Juni 2013) pada portofolio saham dengan pinjaman dapat dilihat pada Gambar 4.8 sampai dengan Gambar 4.14.

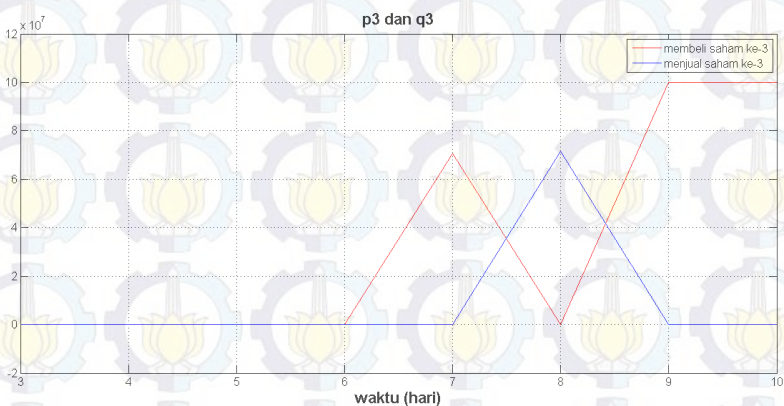




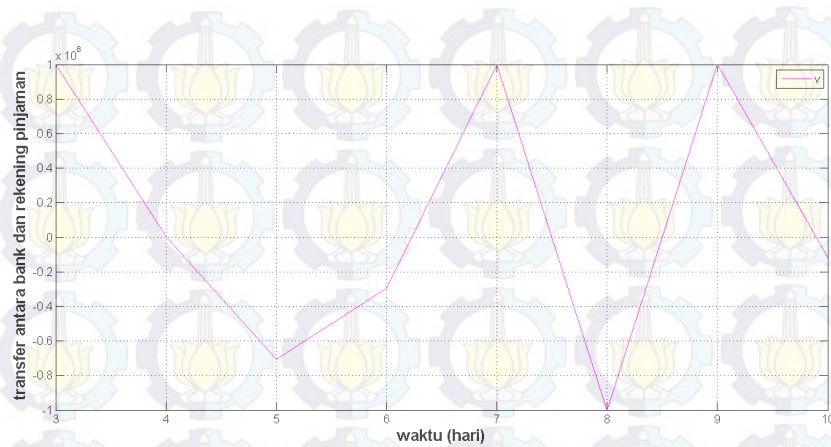
Gambar 4.8 Nilai  $p_1$  dan  $q_1$  untuk hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



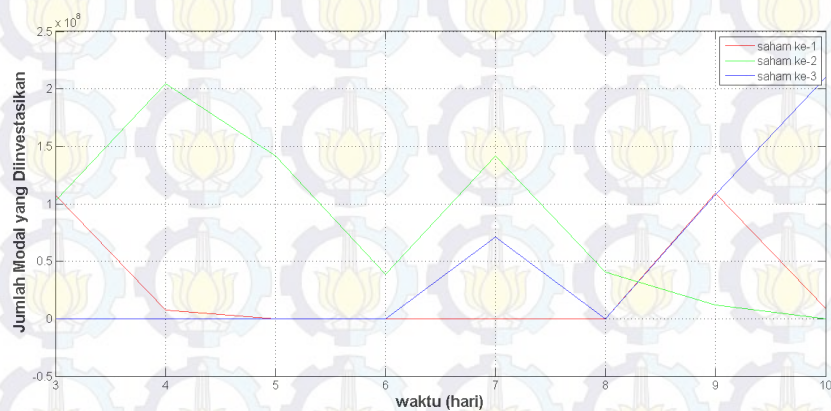
Gambar 4.9 Nilai  $p_2$  dan  $q_2$  untuk hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



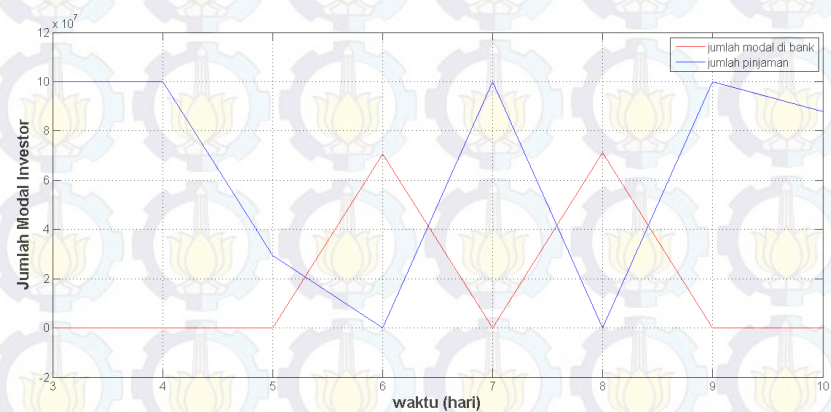
Gambar 4.10 Nilai  $p_3$  dan  $q_3$  untuk hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



Gambar 4.11 Nilai  $v$  pada untuk ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman

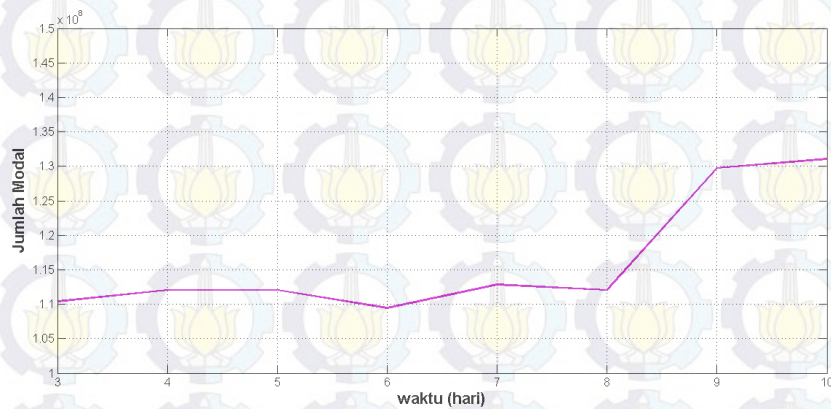


Gambar 4.12 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



Gambar 4.13 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko dan pinjaman hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman





Gambar 4.14 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-3 sampai dengan hari ke-10 di dalam portofolio saham dengan pinjaman

Berdasarkan Tabel 4.2, dapat diketahui bahwa pada hari ke-5 (6 Juni 2013), *return* saham Unilever bernilai 0, artinya adalah harga saham pada hari tersebut nilainya sama jika dibandingkan dengan hari sebelumnya. Harga saham Unilever menunjukkan tren turun pada hari ke-5 (6 Juni 2013) sampai dengan hari ke-8 (11 Juni 2013), sehingga untuk menghindarkan investor dari kerugian yang terlalu besar pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham Unilever. Nilai  $p_1$  dan  $q_1$  untuk hari ke-5 sampai dengan hari ke-8 adalah 0, yang berarti tidak ada proses jual beli untuk saham Unilever. Ketika harga saham Unilever kembali naik pada hari ke-9, didapatkan nilai  $p_1$  adalah  $1 \times 10^8$ , hal ini berarti pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham Unilever. Berdasarkan Tabel 4.3 diketahui bahwa pada hari ke-5 sampai dengan hari ke-8 nilai  $x_1$  adalah 0, yang berarti bahwa tidak terjadi proses perdagangan saham Unilever pada hari tersebut.

Tabel 4.2 Harga dan *return* saham harian serta total modal investor pada hari ke-5 sampai dengan hari ke-8

| Tanggal      | Harga Saham |      |       | Return Saham |          |          | Total Modal Investor |
|--------------|-------------|------|-------|--------------|----------|----------|----------------------|
|              | Unilever    | PGN  | SI    | Unilever     | PGN      | SI       |                      |
| 6 Juni 2013  | 31000       | 5700 | 17450 | 0            | 0        | 0        | 112.026.682          |
| 7 Juni 2013  | 28900       | 5350 | 16100 | -0,06774     | -0,06140 | -0,07736 | 109.461.721          |
| 10 Juni 2013 | 27700       | 5450 | 16300 | -0,04152     | 0,01869  | 0,01242  | 112.869.216          |
| 11 Juni 2013 | 26900       | 5350 | 15300 | -0,0288      | -0,01834 | -0,06134 | 112.075.040          |



Tabel 4.3 Nilai  $x_1, p_1, q_1, x_2, p_2, q_2, x_3, p_3, q_3, x_4, x_5$  dan  $v$  pada hari ke-5 sampai dengan hari ke-8

| Variabel | Tanggal     |             |              |              |
|----------|-------------|-------------|--------------|--------------|
|          | 6 Juni 2013 | 7 Juni 2013 | 10 Juni 2013 | 11 Juni 2013 |
| $x_1$    | 0           | 0           | 0            | 0            |
| $p_1$    | 0           | 0           | 0            | 0            |
| $q_1$    | 7.671.030   | 0           | 0            | 0            |
| $x_2$    | 141.480.966 | 38.933.889  | 141.530.785  | 40.768.752   |
| $p_2$    | 0           | 0           | 100.000.000  | 0            |
| $q_2$    | 63.019.991  | 100.000.000 | 0            | 100.000.000  |
| $x_3$    | 0           | 0           | 71.369.431   | 0            |
| $p_3$    | 0           | 0           | 70.493.732   | 0            |
| $q_3$    | 0           | 0           | 0            | 71.369.431   |
| $x_4$    | 0           | 70.527.831  | 0            | 71.337.297   |
| $x_5$    | 29.454.284  | 0           | 100.031.000  | 31.009       |
| $v$      | -70.676.884 | -29.454.284 | 100.000.000  | -100.000.000 |

Pada hari ke-5, *return* saham PGN bernilai 0, namun harga saham Unilever menunjukkan tren fluktuatif pada hari ke-5 sampai dengan hari ke-8. Pada hari ke-6 dan ke-8 ketika harga saham PGN turun, pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham PGN, sedangkan pada hari ke-7 ketika harga saham PGN naik pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham PGN. Pada hari ke-5 sampai hari ke-8 nilai  $x_2$  bergerak fluktuatif, jika harga saham naik nilai  $x_2$  bertambah sedangkan jika harga saham turun nilai  $x_2$  berkurang. Harga saham Semen Indonesia juga menunjukkan tren fluktuatif pada hari ke-5 sampai dengan hari ke-8, sehingga pengontrol MPC melakukan hal yang sama seperti pada  $x_2$ . Ketika harga saham Semen Indonesia naik pada hari ke-7, pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham Semen Indonesia, sedangkan pada hari ke-6 dan ke-8 ketika harga saham Semen Indonesia turun pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham Semen Indonesia.

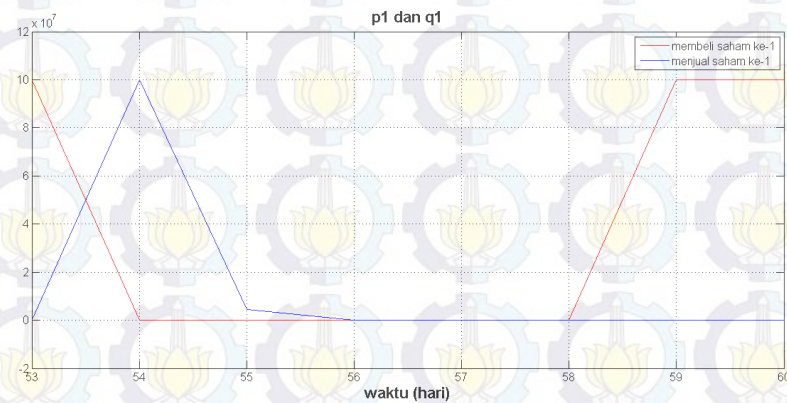
Sebagai akibat dari kontrol tersebut, maka jumlah modal investor di bank dan rekening pinjaman mengalami perubahan setiap harinya mulai hari ke-5 sampai dengan hari ke-8. Berdasarkan Tabel 4.3, pada hari ke-5 sampai dengan hari ke-8 jumlah modal investor di bank masing-masing adalah sebesar 0, 70.527.831, 0, dan 71.337.297, sedangkan jumlah pinjaman investor pada hari ke-5 sampai dengan hari ke-8 masing-masing adalah 29.454.284, 0, 100.031.000 dan 31.009. Jumlah seluruh modal investor yang merupakan *output* dari sistem juga menunjukkan tren fluktuatif, ketika harga saham dari kedua perusahaan (PGN dan Semen Indonesia) mengalami penurunan pada hari ke-6 dan hari ke-8



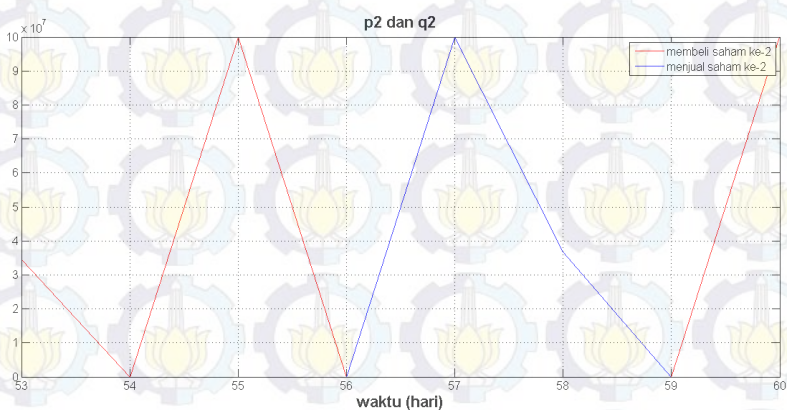
jumlah modal dari investor juga mengalami penurunan. Sedangkan ketika harga dari kedua perusahaan mengalami kenaikan pada hari ke-7 jumlah modal investor juga mengalami kenaikan.

#### 4.3.2 Hasil Simulasi Portofolio Saham dengan Pinjaman pada Hari ke-53 sampai Hari ke-60

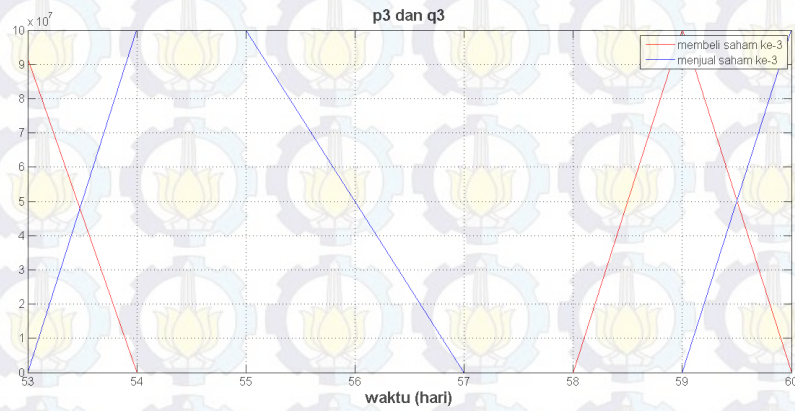
Nilai dari seluruh *state*, kontrol, serta *output* dari sistem untuk hari ke-53 (13 Agustus 2013) sampai dengan hari ke-60 (22 Agustus 2013) pada portofolio saham dengan pinjaman dapat dilihat pada Gambar 4.15 sampai dengan Gambar 4.21.



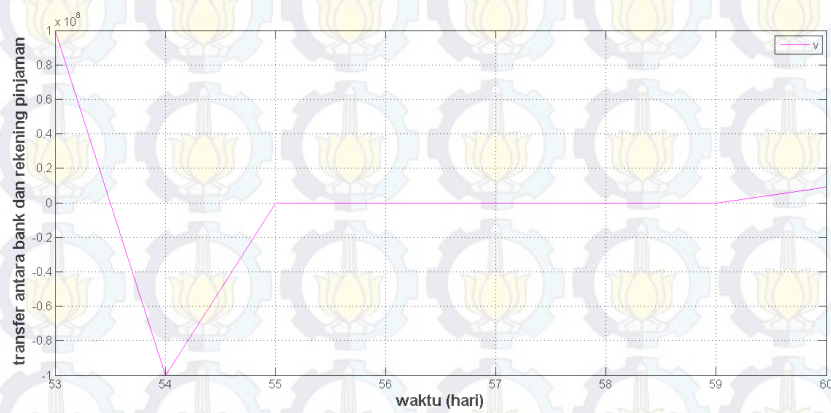
Gambar 4.15 Nilai  $p_1$  dan  $q_1$  untuk hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



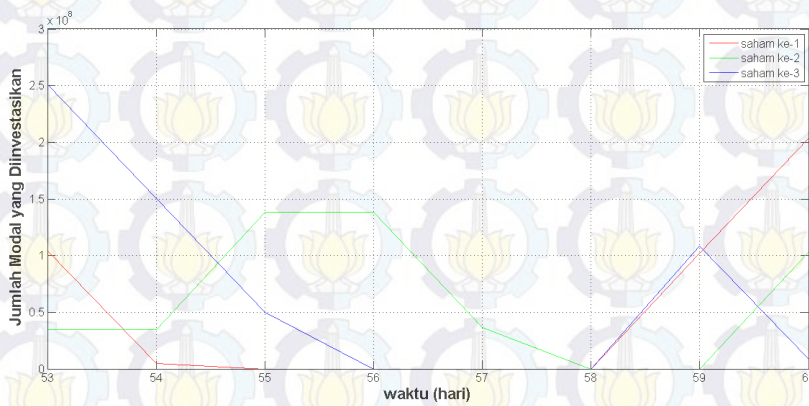
Gambar 4.16 Nilai  $p_2$  dan  $q_2$  untuk hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



Gambar 4.17 Nilai  $p_3$  dan  $q_3$  untuk hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman

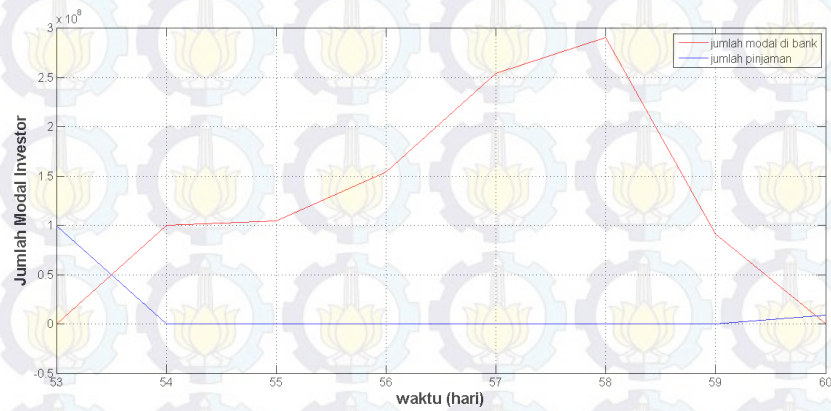


Gambar 4.18 Nilai  $v$  untuk hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman

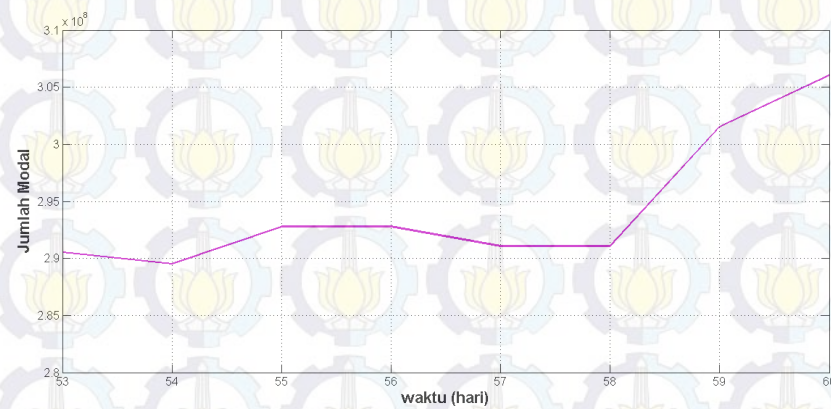


Gambar 4.19 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman





Gambar 4.20 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko dan pinjaman hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



Gambar 4.21 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-53 sampai dengan hari ke-60 di dalam portofolio saham dengan pinjaman

Berdasarkan Tabel 4.4, dapat diketahui bahwa pada hari ke-55 (15 Agustus 2013) sampai dengan hari ke-58 (20 Agustus 2013), harga saham Unilever menunjukkan tren turun, sehingga untuk menghindarkan investor dari kerugian yang terlalu besar pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham Unilever.

Berdasarkan Tabel 4.5, diketahui bahwa nilai  $p_1$  untuk hari ke-55 sampai dengan hari ke-58 adalah 0, yang berarti tidak ada proses pembelian untuk saham Unilever. Sedangkan nilai  $q_1$  untuk hari ke-55 adalah 4.485.645, dan untuk hari ke-56 sampai dengan hari ke-58 adalah 0. Hal ini berarti pengontrol MPC memutuskan untuk menjual seluruh saham Unilever yang dimiliki serta tidak melakukan proses jual beli saham Unilever mulai hari ke-55 sampai dengan hari ke-58. Ketika harga saham Unilever kembali naik pada hari ke-59, didapatkan

nilai  $p_1$  adalah  $1 \times 10^8$ , hal ini berarti pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham Unilever. Pada hari ke-55 sampai dengan hari ke-58 nilai  $x_1$  adalah 0.

Tabel 4.4 Harga dan *return* saham harian serta total modal investor pada hari ke-55 sampai dengan hari ke-58

| Tanggal         | Harga Saham |      |       | Return Saham |          |          | Total Modal Investor |
|-----------------|-------------|------|-------|--------------|----------|----------|----------------------|
|                 | Unilever    | PGN  | SI    | Unilever     | PGN      | SI       |                      |
| 15 Agustus 2013 | 30700       | 5700 | 15300 | -0,0176      | 0,02702  | -0,00649 | 292.790.477          |
| 16 Agustus 2013 | 30700       | 5700 | 14800 | 0            | 0        | -0,03267 | 292.785.115          |
| 19 Agustus 2013 | 29200       | 5450 | 13100 | -0,04885     | -0,04385 | -0,11486 | 291.086.361          |
| 20 Agustus 2013 | 28900       | 5100 | 12450 | -0,01027     | -0,06422 | -0,04961 | 291.087.741          |

Tabel 4.5 Nilai  $x_1, p_1, q_1, x_2, p_2, q_2, x_3, p_3, q_3, x_4, x_5$  dan  $v$  pada hari ke-55 sampai dengan hari ke-58

| Variabel | Tanggal         |                 |                 |                 |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|          | 15 Agustus 2013 | 16 Agustus 2013 | 19 Agustus 2013 | 20 Agustus 2013 |
| $x_1$    | 0               | 0               | 0               | 0               |
| $p_1$    | 0               | 0               | 0               | 0               |
| $q_1$    | 4.485.645       | 0               | 0               | 0               |
| $x_2$    | 138.449.531     | 138.449.531     | 36.763.148      | 0               |
| $p_2$    | 100.000.000     | 0               | 0               | 0               |
| $q_2$    | 0               | 0               | 100.000.000     | 36.763.148      |
| $x_3$    | 49.961.076      | 0               | 0               | 0               |
| $p_3$    | 0               | 0               | 0               | 0               |
| $q_3$    | 100.000.000     | 49.961.076      | 0               | 0               |
| $x_4$    | 104.379.869     | 154.335.583     | 254.323.213     | 291.087.741     |
| $x_5$    | 0               | 0               | 0               | 0               |
| $v$      | -31.009         | 0               | 0               | 0               |

Berdasarkan Tabel 4.5, dapat dilihat bahwa pada hari ke-55 (15 Agustus 2013) sampai dengan hari ke-58 (20 Agustus 2013) harga saham PGN menunjukkan tren fluktuatif. Pada hari ke-55 ketika harga saham PGN naik, pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham PGN. Hal ini dapat dilihat dari Tabel 4.6, di mana nilai  $p_2$  untuk hari ke-55 bernilai  $1 \times 10^8$ .



Ketika harga saham PGN tetap pada hari ke-56, pengontrol MPC memutuskan untuk tidak menjual saham yang dimiliki, dan ketika harga saham PGN turun pada hari ke-57 dan hari ke-58 pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham PGN. Pada hari ke-55 sampai hari ke-58 nilai  $x_2$  bergerak fluktuatif, jika harga saham naik nilai  $x_2$  bertambah sedangkan jika harga saham turun nilai dari  $x_2$  berkurang.

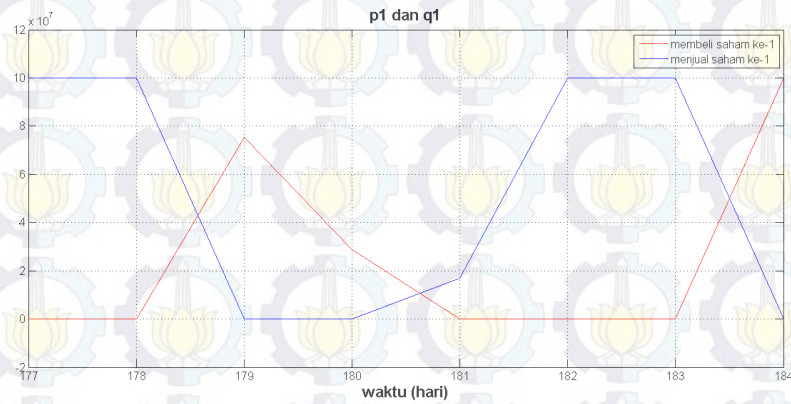
Harga saham Semen Indonesia juga menunjukkan tren turun pada hari ke-55 sampai dengan hari ke-58, sehingga pengontrol MPC melakukan hal yang sama seperti pada  $x_1$ . Berdasarkan Tabel 4.5, diketahui bahwa nilai  $p_3$  untuk hari ke-55 sampai dengan hari ke-58 adalah 0, yang berarti tidak ada proses pembelian untuk saham Semen Indonesia. Sedangkan nilai  $q_3$  untuk hari ke-55 dan hari ke-56 masing-masing adalah  $1 \times 10^8$  dan 49.961.076, sedangkan untuk hari ke-57 dan hari ke-58 adalah 0.

Hal ini berarti pengontrol MPC memutuskan untuk menjual seluruh saham Semen Indonesia yang dimiliki serta tidak melakukan proses jual beli saham Semen Indonesia mulai hari ke-57 sampai dengan hari ke-58. Ketika harga saham Semen Indonesia kembali naik pada hari ke-59, didapatkan nilai  $p_3$  adalah  $1 \times 10^8$ , hal ini berarti pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham Indonesia.

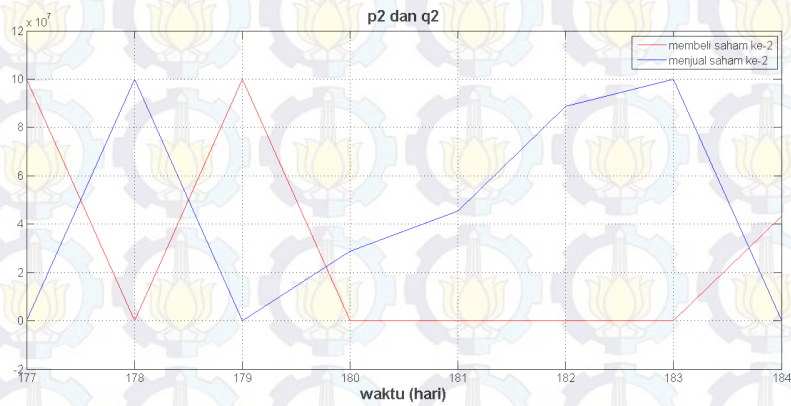
Sebagai akibat dari kontrol tersebut, maka jumlah modal investor di bank mengalami kenaikan setiap harinya mulai hari ke-55 sampai dengan hari ke-58 seperti yang terlihat pada Tabel 4.5. Hal ini terjadi karena pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham dari ketiga perusahaan dan mentransfer uang hasil penjualan saham tersebut ke rekening bank. Jumlah pinjaman investor pada hari ke-55 sampai dengan hari ke-58 adalah 0. Jumlah seluruh modal investor yang merupakan *output* dari sistem juga menunjukkan tren menurun akibat turunnya harga saham ketiga perusahaan.

#### 4.3.3 Hasil Simulasi Portofolio Saham dengan Pinjaman pada Hari ke-177 sampai Hari ke-184

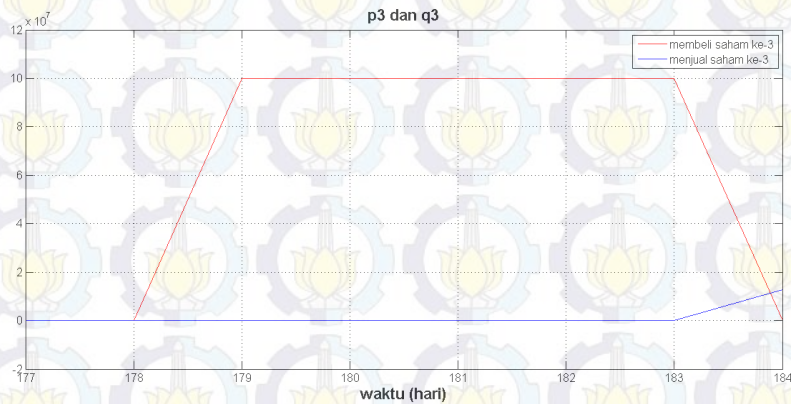
Nilai dari seluruh *state*, kontrol, serta *output* dari sistem untuk hari ke-177 (3 Februari 2014) sampai dengan hari ke-184 (12 Februari 2014) pada portofolio saham dengan pinjaman dapat dilihat pada Gambar 4.22 sampai dengan Gambar 4.28.



Gambar 4.22 Nilai  $p_1$  dan  $q_1$  untuk hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman

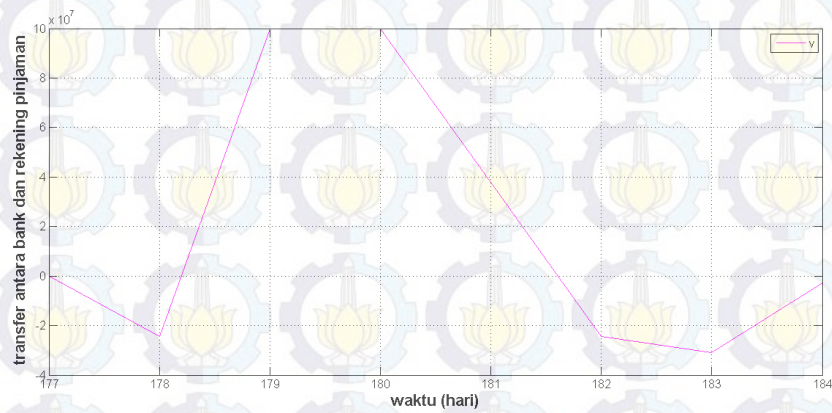


Gambar 4.23 Nilai  $p_2$  dan  $q_2$  untuk hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman

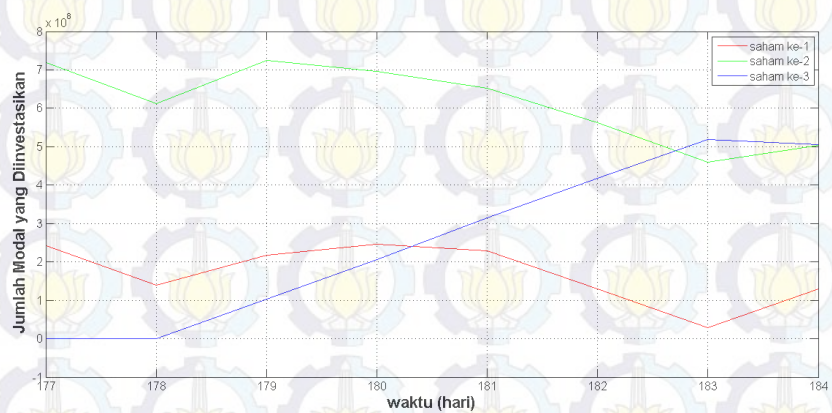


Gambar 4.24 Nilai  $p_3$  dan  $q_3$  untuk hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman

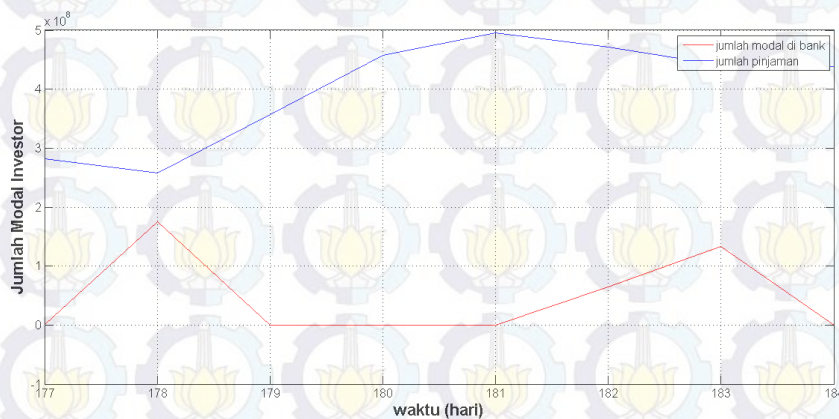




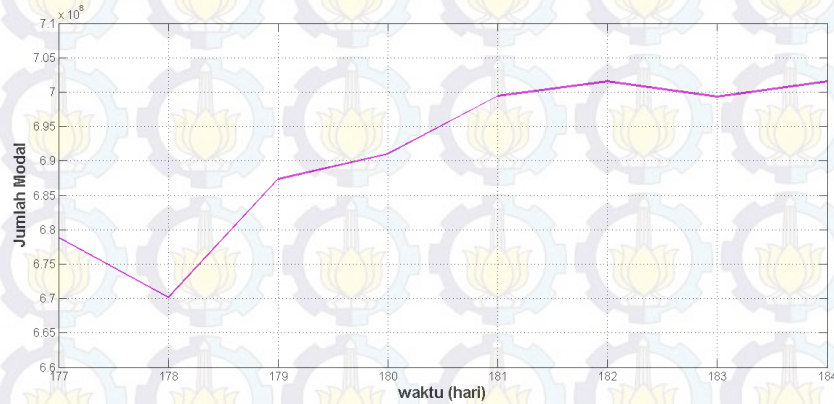
Gambar 4.25 Nilai  $v$  untuk hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



Gambar 4.26 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



Gambar 4.27 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko dan pinjaman hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman



Gambar 4.28 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-177 sampai dengan hari ke-184 di dalam portofolio saham dengan pinjaman

Berdasarkan Tabel 4.6, dapat diketahui bahwa pada hari ke-179 (5 Februari 2014) sampai dengan hari ke-182 (10 Februari 2014) harga saham Semen Indonesia menunjukkan tren naik, sehingga agar investor mendapatkan keuntungan dari kenaikan harga saham tersebut pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham Semen Indonesia. Sedangkan harga saham Unilever dan PGN menunjukkan tren naik dari hari ke-179 sampai dengan hari ke-181 dan turun pada hari ke-182.

Berdasarkan Tabel 4.7, dapat dilihat bahwa nilai  $p_1$  untuk hari ke-179 sampai dengan hari ke-181 masing-masing adalah 75.415.817, 28.694.935, 0, dan 0, sedangkan nilai  $q_1$  untuk hari ke-179 sampai dengan hari ke-181 masing-masing adalah 0, 0, 16.805.873, dan  $1 \times 10^8$ .

Tabel 4.6 Harga dan *return* saham harian serta total modal investor pada hari ke-179 sampai dengan hari ke-182

| Tanggal          | Harga Saham |      |       | Return Saham |          |         | Total Modal Investor |
|------------------|-------------|------|-------|--------------|----------|---------|----------------------|
|                  | Unilever    | PGN  | SI    | Unilever     | PGN      | SI      |                      |
| 5 Februari 2014  | 28125       | 4820 | 14425 | 0,00987      | 0,01580  | 0,03963 | 687.342.590          |
| 6 Februari 2014  | 28200       | 4830 | 14550 | 0,00266      | 0,00207  | 0,00866 | 691.034.003          |
| 7 Februari 2014  | 28225       | 4830 | 14950 | 0,00088      | 0        | 0,02749 | 699.456.362          |
| 10 Februari 2014 | 28100       | 4825 | 15075 | -0,00442     | -0,00103 | 0,00836 | 701.560.640          |



Tabel 4.7 Nilai  $x_1, p_1, q_1, x_2, p_2, q_2, x_3, p_3, q_3, x_4, x_5$  dan  $v$  pada hari ke-179 sampai dengan hari ke-182

| Variabel | Tanggal         |                 |                 |                  |
|----------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
|          | 5 Februari 2014 | 6 Februari 2014 | 7 Februari 2014 | 10 Februari 2014 |
| $x_1$    | 216.886.829     | 246.236.649     | 229.634.172     | 129.060.061      |
| $p_1$    | 75.415.817      | 28.694.935      | 0               | 0                |
| $q_1$    | 0               | 0               | 16.805.873      | 100.000.000      |
| $x_2$    | 723.950.178     | 696.666.132     | 651.275.683     | 562.040.433      |
| $p_2$    | 100.000.000     | 0               | 0               | 0                |
| $q_2$    | 0               | 28.726.420      | 45.390.448      | 88.652.825       |
| $x_3$    | 103.963.964     | 205.731.416     | 314.136.403     | 417.599.082      |
| $p_3$    | 100.000.000     | 100.000.000     | 100.000.000     | 100.000.000      |
| $q_3$    | 0               | 0               | 0               | 0                |
| $x_4$    | 0               | 0               | 0               | 64.168.793       |
| $x_5$    | 357.458.381     | 457.600.193     | 495.589.896     | 471.307.731      |
| $v$      | 100.000.000     | 100.000.000     | 37.836.117      | -24.428.225      |

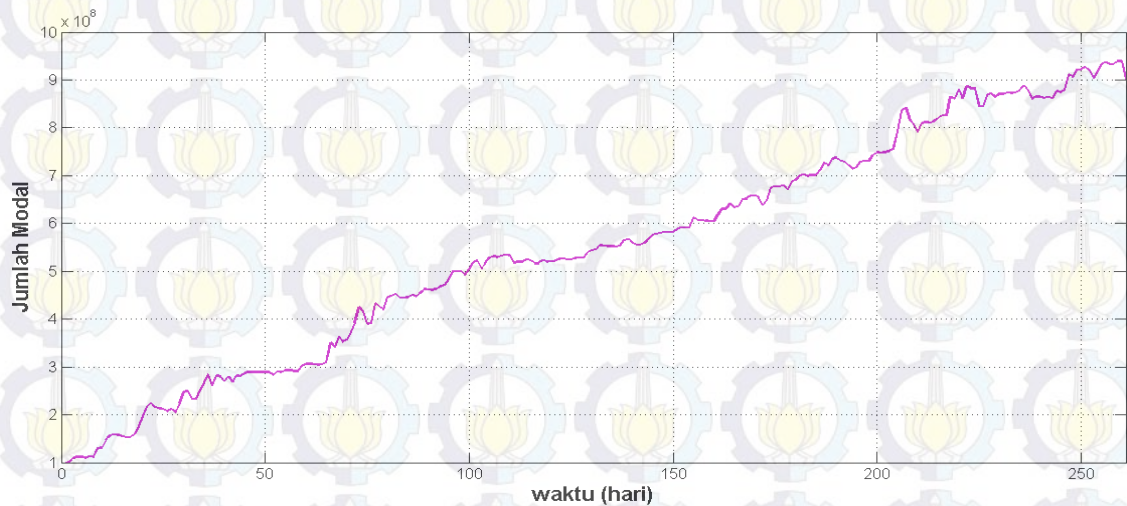
Berdasarkan Tabel 4.7 diketahui bahwa nilai  $p_2$  untuk hari ke-179 sampai dengan hari ke-181 masing-masing adalah  $1 \times 10^8$ , 0, 0, dan 0, sedangkan nilai  $q_2$  untuk hari ke-179 sampai dengan hari ke-181 masing-masing adalah 0, 28.726.420, 45.390.448, dan 88.652.825. Nilai  $p_3$  untuk hari ke-179 sampai dengan hari ke-181 adalah  $1 \times 10^8$ , sedangkan nilai  $q_3$  untuk hari ke-179 sampai dengan hari ke-181 adalah 0. Pada hari ke-179, pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham dari ketiga perusahaan. Pada hari ke-180, pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham PGN serta membeli saham Unilever dan Semen Indonesia. Hal ini terjadi pada hari tersebut nilai *return* saham PGN memiliki nilai yang terkecil jika dibandingkan dengan *return* kedua saham lainnya.

Berikutnya pada hari ke-181 ketika *return* saham Semen Indonesia memiliki nilai terbesar jika dibandingkan dengan kedua saham lainnya, pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham Unilever dan PGN serta membeli saham Semen Indonesia. Pada hari ke-182 ketika harga saham Unilever dan PGN turun sedangkan harga saham Semen Indonesia naik, pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham Unilever dan PGN serta membeli saham Semen Indonesia.

Berdasarkan Tabel 4.7, diketahui bahwa pada hari ke-179 sampai dengan hari ke-182 jumlah modal investor di bank masing-masing adalah sebesar 0, 0, 0, dan 64.168.793, sedangkan jumlah pinjaman investor masing-masing adalah 357.458.381, 457.600.193,

495.589.896 dan 471.307.731. Jumlah seluruh modal investor yang merupakan *output* dari sistem terus bertambah dari hari ke-179 sampai dengan hari ke-182.

Jumlah modal yang dimiliki oleh investor pada seluruh asetnya dapat dilihat pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor di dalam portofolio saham dengan pinjaman

Berdasarkan Gambar 4.29, dapat dilihat bahwa modal yang dimiliki oleh investor pada seluruh asetnya mengalami kenaikan. Pada kondisi awal jumlah modal yang dimiliki investor adalah  $1 \times 10^8$ , dan pada kondisi akhir jumlah modal yang dimiliki investor adalah 902.073.382. Kenaikan ini terjadi karena jumlah modal yang diinvestasikan pada portofolio saham berusaha untuk mencapai *reference trajectory* yang ditetapkan sebelumnya, yaitu  $1 \times 10^9$ . Pada beberapa hari terlihat bahwa modal investor mengalami penurunan, hal ini terjadi karena pada hari tersebut *return* dari beberapa saham bernilai negatif, sehingga investor mengalami kerugian. Akan tetapi, kerugian ini dapat ditutupi oleh keuntungan di beberapa hari berikutnya, sehingga secara keseluruhan jumlah modal investor mengalami kenaikan.



#### 4.4. Hasil Simulasi pada Optimisasi Portofolio Saham Tanpa Pinjaman

Untuk mengetahui pengaruh variabel pinjaman modal pada optimisasi portofolio saham, maka pada sub bab ini dilakukan uji simulasi pada portofolio saham tanpa adanya pinjaman. Data, nilai inisialisasi awal dan parameter yang digunakan pada kasus ini sama dengan portofolio dengan adanya pinjaman yang telah dibahas pada sub bab sebelumnya. Dengan menggunakan Persamaan (4.1) dan (4.2) maka dapat didefinisikan kembali persamaan ruang keadaan sebagai berikut

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+1|k) = \mathbf{A}\tilde{\mathbf{x}}(k|k) + \mathbf{B}\tilde{\mathbf{u}}(k|k) \quad (4.18)$$

$$\tilde{\mathbf{y}}(k|k) = \mathbf{C}\tilde{\mathbf{x}}(k|k) \quad (4.19)$$

dengan

$$\tilde{\mathbf{x}}(k+1) = \begin{bmatrix} x_1(k+1) \\ x_2(k+1) \\ x_3(k+1) \\ x_4(k+1) \end{bmatrix}, \tilde{\mathbf{x}}(k) = \begin{bmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ x_3(k) \\ x_4(k) \end{bmatrix}, \tilde{\mathbf{u}}(k) = \begin{bmatrix} p_1(k) \\ p_2(k) \\ p_3(k) \\ q_1(k) \\ q_2(k) \\ q_3(k) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 + \eta_1(k) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 + \eta_2(k) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 + \eta_3(k) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 + r_1(k) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 1 + \eta_1(k) & 0 & 0 & -(1 + \eta_1(k)) & 0 & 0 \\ 0 & 1 + \eta_2(k) & 0 & 0 & -(1 + \eta_2(k)) & 0 \\ 0 & 0 & 1 + \eta_3(k) & 0 & 0 & -(1 + \eta_3(k)) \\ (1 + r_1(k))(-1 - \alpha) & (1 + r_1(k))(-1 - \alpha) & (1 + r_1(k))(-1 - \alpha) & (1 + r_1(k))(1 + \beta) & (1 + r_1(k))(1 + \beta) & (1 + r_1(k))(1 + \beta) \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C} = [1 \ 1 \ 1 \ 1].$$

Kendala pada portofolio saham tanpa adanya pinjaman didefinisikan sebagai berikut

$$0 \leq p_i(k) \leq 1 \times 10^8, \text{ dengan } i = 1, 2, 3 \quad (4.20)$$

$$0 \leq q_i(k) \leq 1 \times 10^8, \text{ dengan } i = 1, 2, 3 \quad (4.21)$$

$$x_4(k) - (1 + \alpha) \sum_{i=1}^3 p_i(k) + (1 - \beta) \sum_{i=1}^3 q_i(k) \geq 0, \text{ dengan } i = 1, 2, 3 \quad (4.22)$$

$$x_i(k) + p_i(k) - q_i(k) \geq 0, \text{ dengan } i = 1, 2, 3. \quad (4.23)$$

Bentuk Pertidaksamaan (4.20) sampai dengan Pertidaksamaan (4.23) dapat dituliskan kembali dalam bentuk matriks menjadi

$$\mathbf{P}_2 \tilde{\mathbf{u}}(k) \leq \mathbf{h}_2 \quad (4.24)$$

$$\mathbf{b}_3 \leq \mathbf{S}_2 \tilde{\mathbf{u}}(k) \leq \mathbf{b}_4 \quad (4.25)$$

dengan

$$\tilde{\mathbf{u}}(k) = [p_1(k), p_2(k), p_3(k), q_1(k), q_2(k), q_3(k)]^T$$

$$\mathbf{P}_2 = \begin{bmatrix} 1 + \alpha & 1 + \alpha & 1 + \alpha & -(1 - \beta) & -(1 - \beta) & -(1 - \beta) \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{h}_2 = [x_4(k), x_1(k), x_2(k), x_3(k)]^T$$

$$\mathbf{S}_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{b}_3 = [0, 0, 0, 0, 0, 0]^T$$

$$\mathbf{b}_4 = [1 \times 10^8, 1 \times 10^8, 1 \times 10^8, 1 \times 10^8, 1 \times 10^8, 1 \times 10^8]^T.$$

Prediksi nilai kontrol optimal didapatkan dengan menyelesaikan optimisasi dalam bentuk *quadratic programming* berikut:

$$\text{minimumkan} \quad \mathbf{J}(\hat{\mathbf{u}}(k)) = \hat{\mathbf{u}}^T(k) \mathbf{H} \hat{\mathbf{u}}(k) + 2\mathbf{f}^T \hat{\mathbf{u}}(k) \quad (4.26)$$

dengan kendala

$$\mathbf{P} \hat{\mathbf{u}}(k) \leq \mathbf{h} \quad (4.27)$$

$$\mathbf{B}_3 \leq \mathbf{S} \hat{\mathbf{u}}(k) \leq \mathbf{B}_4 \quad (4.28)$$



dengan

$$\hat{\mathbf{u}}(k) = [\hat{\mathbf{u}}(k|k), \hat{\mathbf{u}}(k+1|k), \dots, \hat{\mathbf{u}}(k+N_p-1|k)]^T$$

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \mathbf{P}_2 & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \dots & \mathbf{0}_{4 \times 6} \\ \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{P}_2 & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \dots & \mathbf{0}_{4 \times 6} \\ \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{P}_2 & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \dots & \mathbf{0}_{4 \times 6} \\ \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{P}_2 & \dots & \mathbf{0}_{4 \times 6} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \mathbf{0}_{4 \times 6} & \dots & \mathbf{P}_2 \end{bmatrix}_{4N_p \times 6N_p}, \mathbf{h} = \begin{bmatrix} \mathbf{h}_2 \\ \mathbf{h}_2 \\ \mathbf{h}_2 \\ \mathbf{h}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{h}_2 \end{bmatrix}_{4N_p \times 1}$$

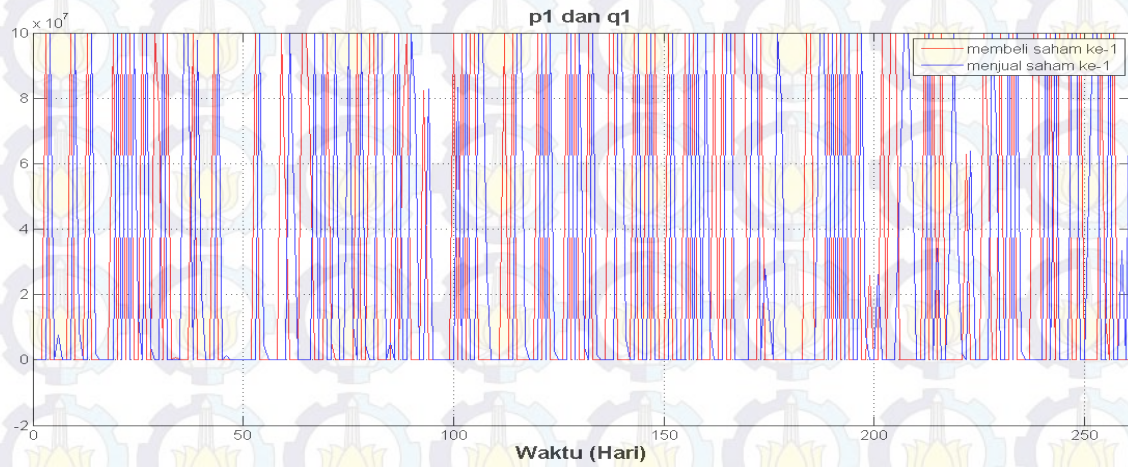
$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} \mathbf{S}_2 & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \dots & \mathbf{0}_{6 \times 6} \\ \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{S}_2 & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \dots & \mathbf{0}_{6 \times 6} \\ \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{S}_2 & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \dots & \mathbf{0}_{6 \times 6} \\ \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{S}_2 & \dots & \mathbf{0}_{6 \times 6} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \mathbf{0}_{6 \times 6} & \dots & \mathbf{S}_2 \end{bmatrix}_{6N_p \times 6N_p}, \mathbf{B}_3 = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_3 \\ \mathbf{b}_3 \\ \mathbf{b}_3 \\ \mathbf{b}_3 \\ \vdots \\ \mathbf{b}_3 \end{bmatrix}_{6N_p \times 1}, \mathbf{B}_4 = \begin{bmatrix} \mathbf{b}_4 \\ \mathbf{b}_4 \\ \mathbf{b}_4 \\ \mathbf{b}_4 \\ \vdots \\ \mathbf{b}_4 \end{bmatrix}_{6N_p \times 1}$$

$\mathbf{0}_{4 \times 6}$  : matriks nol berukuran  $4 \times 6$

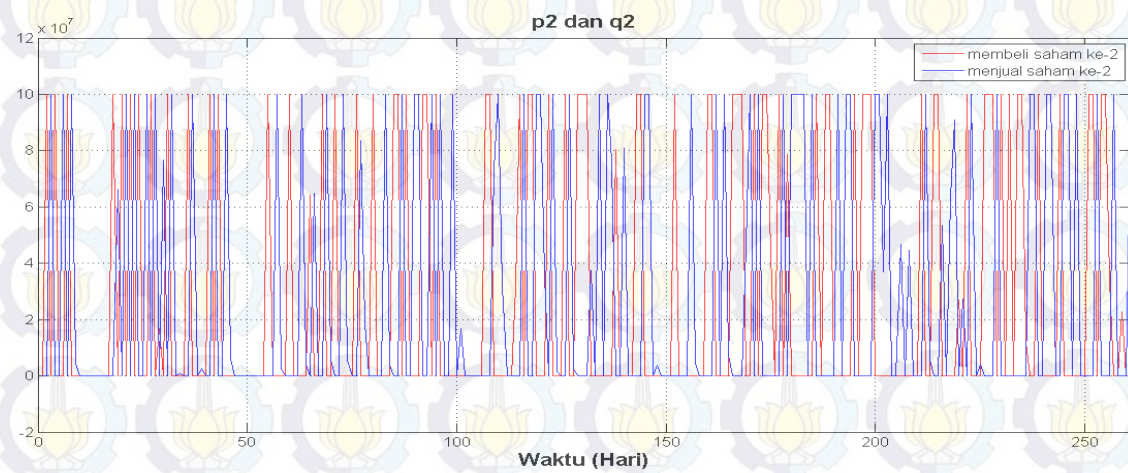
$\mathbf{0}_{6 \times 6}$  : matriks nol berukuran  $6 \times 6$ .

Langkah-langkah berikutnya sama seperti yang telah dilakukan pada permasalahan optimisasi portofolio saham dengan adanya pinjaman. Dengan menggunakan Persamaan (4.18) serta data dari parameter dapat diketahui nilai dari matriks  $\mathbf{A}$  dan  $\mathbf{B}$ . Selanjutnya didapatkan bahwa matriks  $[\mathbf{B} \mid \mathbf{AB} \mid \mathbf{A}^2\mathbf{B} \mid \mathbf{A}^3\mathbf{B}]$  memiliki rank 4, yang berarti bahwa sistem dalam keadaan terkontrol. Hal ini lah yang memungkinkan penerapan MPC linier dalam permasalahan optimisasi portofolio saham tanpa adanya pinjaman. Berikutnya, dengan menggunakan data dari parameter dan persamaan (4.18) serta (4.19) didapatkan pula bahwa matriks  $[\mathbf{C}, \mathbf{CA}, \mathbf{CA}^2, \mathbf{CA}^3]^T$  memiliki rank 4. Hal ini berarti sistem teramat. Tujuan dari optimisasi portofolio saham tanpa adanya pinjaman adalah membuat *output* dari sistem, dalam hal ini merupakan total seluruh modal yang dimiliki oleh investor, terus bertambah setiap harinya dengan mengikuti *reference trajectory* yang diberikan serta menjaga kontrol dari sistem agar tetap berada dalam batas *constraint* yang ditetapkan.

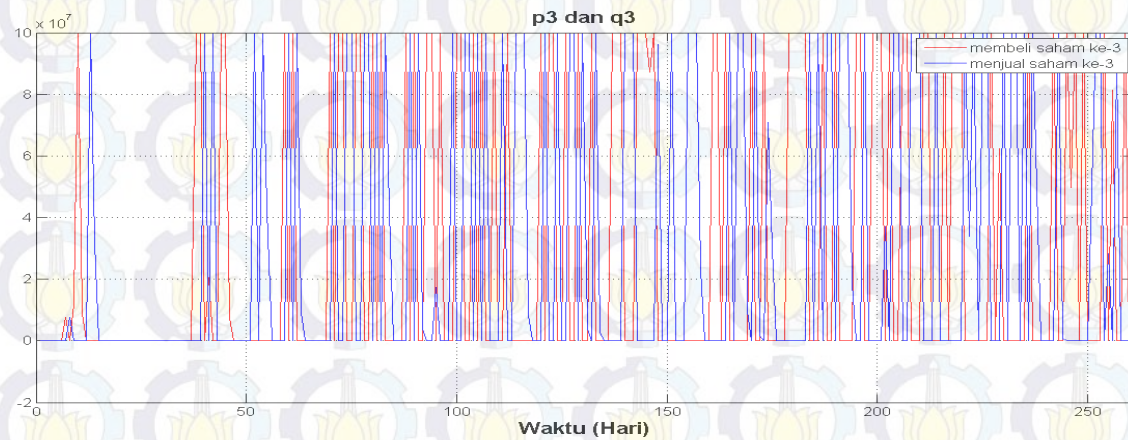
Hasil simulasi pada kontrol dari sistem dapat dilihat pada Gambar 4.30 sampai dengan Gambar 4.32.



Gambar 4.30 Nilai  $p_1$  dan  $q_1$  di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



Gambar 4.31 Nilai  $p_2$  dan  $q_2$  di dalam portofolio saham tanpa pinjaman

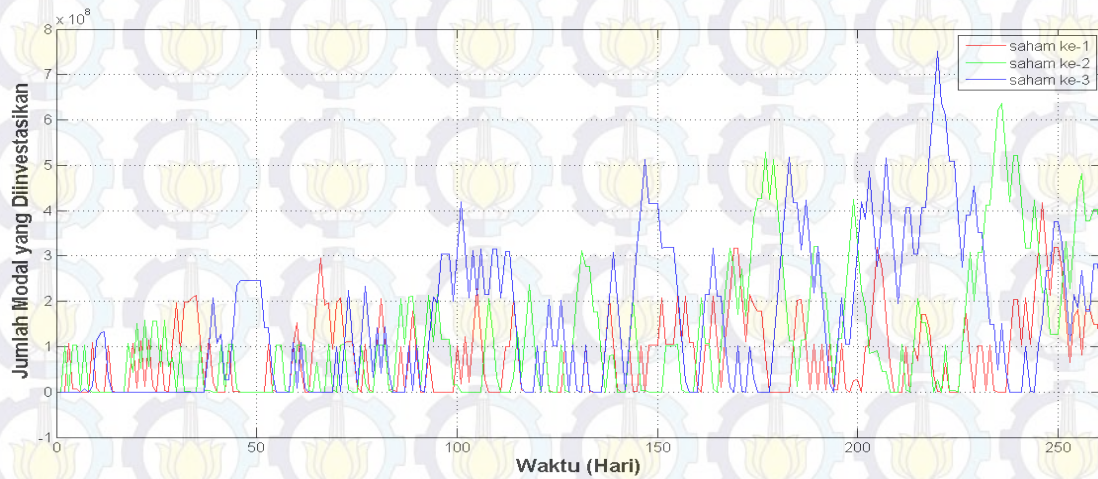


Gambar 4.32 Nilai  $p_3$  dan  $q_3$  di dalam portofolio saham tanpa pinjaman

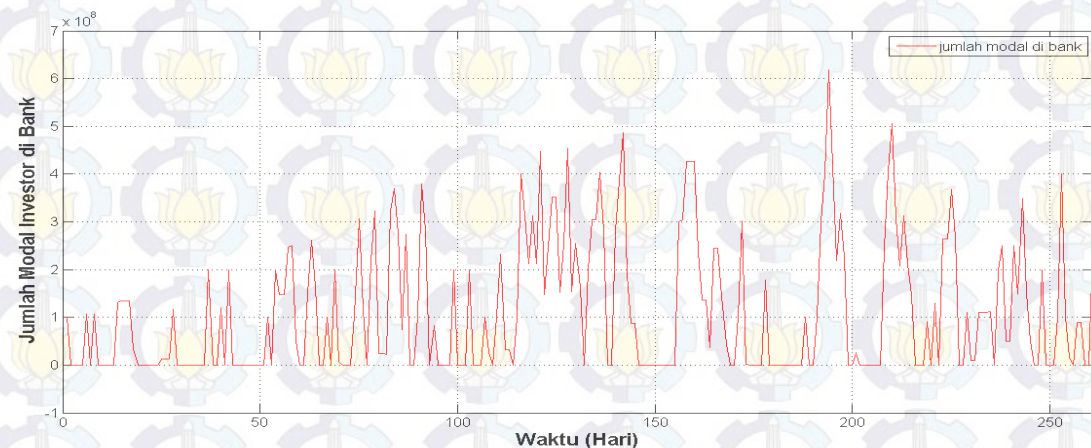


Berdasarkan Gambar 4.30 sampai dengan Gambar 4.32 diketahui bahwa nilai seluruh kontrol dari sistem berada dalam batas *constraint* yang diberikan. Seluruh nilai  $p_1(k)$ ,  $p_2(k)$ ,  $p_3(k)$ ,  $q_1(k)$ ,  $q_2(k)$ , dan  $q_3(k)$  berada diantara nilai minimumnya yaitu 0, dan nilai maksimumnya yaitu  $1 \times 10^8$ . Nilai *reference trajectory* yang besar menyebabkan kontrol dari sistem selalu berusaha mencapai nilai maksimumnya.

Gambar 4.33 dan Gambar 4.34 menunjukkan perubahan modal yang dimiliki oleh investor pada masing-masing saham serta bank.



Gambar 4.33 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko di dalam portofolio saham tanpa pinjaman

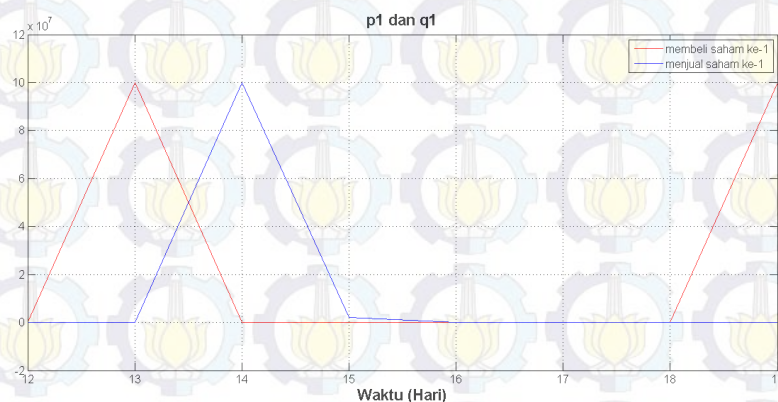


Gambar 4.34 Perubahan modal investor di aset bebas risiko di dalam portofolio saham tanpa pinjaman

Berdasarkan Gambar 4.33 terlihat bahwa nilai *return* saham harian berpengaruh terhadap jumlah modal yang diinvestasikan pada masing-masing saham setiap harinya. Pengontrol MPC berusaha untuk mengurangi kerugian yang akan terjadi pada investor ketika harga saham pada salah satu perusahaan mengalami penurunan. Berdasarkan Gambar 4.34 terlihat bahwa perubahan modal investor di bank menunjukkan perubahan yang kecil sampai dengan hari ke-50. Hal ini terjadi karena investor tidak mendapatkan tambahan pinjaman, sehingga untuk membentuk portofolio saham investor hanya menggunakan modal yang terdapat di bank saja. Setelah hari ke-50 perubahan modal investor di bank menunjukkan perubahan yang besar, hal ini terjadi karena investor telah mendapatkan keuntungan dari investasi dari 50 hari sebelumnya, sehingga jumlah modal yang dimiliki investor mengalami kenaikan.

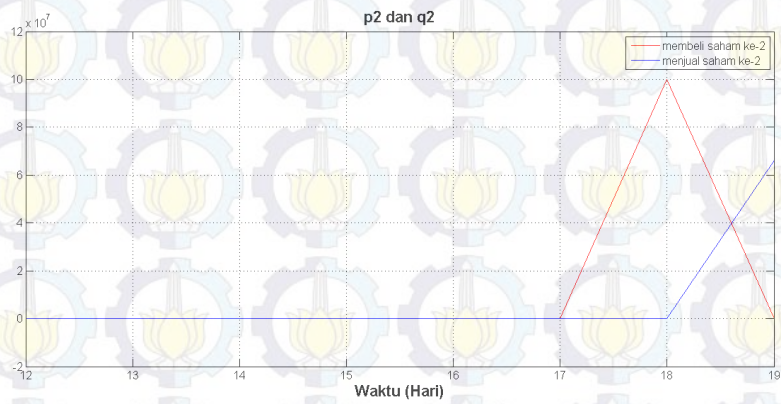
#### 4.4.1 Hasil Simulasi Portofolio Saham Tanpa Pinjaman pada Hari ke-12 sampai Hari ke-19

Nilai dari seluruh *state*, kontrol, serta output dari sistem untuk hari ke-12 (17 Juni 2013) sampai dengan hari ke-19 (26 Juni 2013) pada portofolio saham tanpa pinjaman dapat dilihat pada Gambar 4.35 sampai dengan Gambar 4.40.

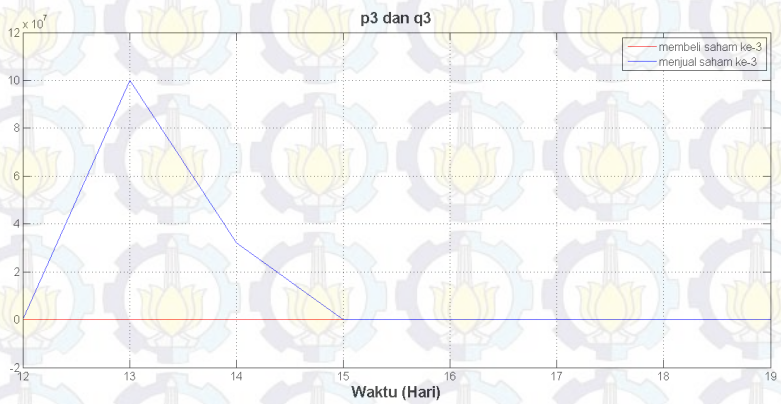


Gambar 4.35 Nilai  $p_1$  dan  $q_1$  untuk hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman

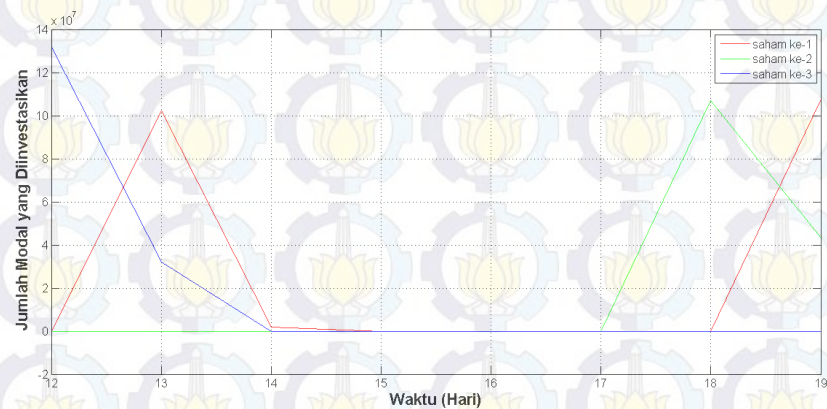




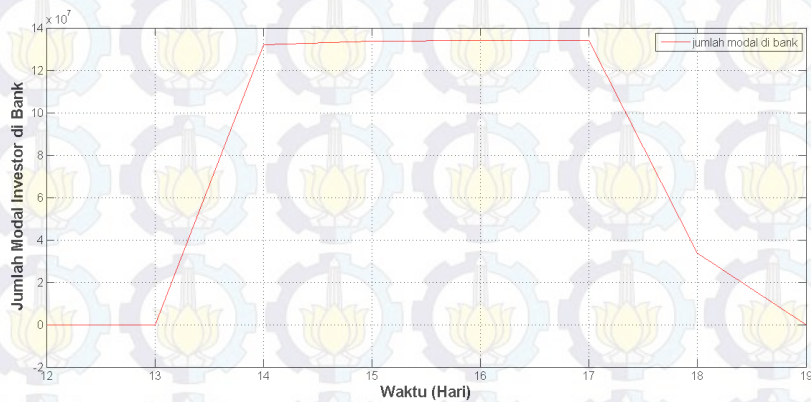
Gambar 4.36 Nilai  $p_2$  dan  $q_2$  untuk hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



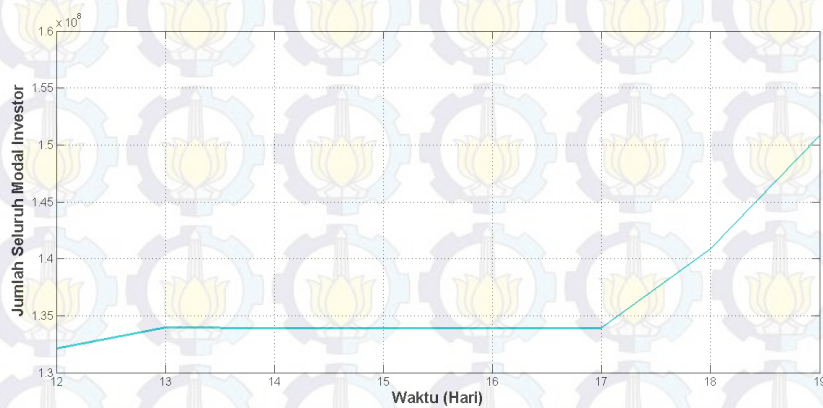
Gambar 4.37 Nilai  $p_3$  dan  $q_3$  untuk hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



Gambar 4.38 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



Gambar 4.39 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



Gambar 4.40 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-12 sampai dengan hari ke-19 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman

Berdasarkan Tabel 4.8, dapat diketahui bahwa pada hari ke-14 (19 Juni 2013) sampai dengan hari ke-17 (24 Juni 2013), harga saham dari ketiga perusahaan menunjukkan tren turun, sehingga untuk menghindarkan investor dari kerugian yang terlalu besar pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham ketiga perusahaan tersebut.

Berdasarkan Tabel 4.9, diperoleh nilai  $p_1$  untuk hari ke-14 sampai dengan hari ke-17 adalah 0, yang berarti tidak ada proses pembelian untuk saham Unilever. Sedangkan nilai  $q_1$  untuk hari ke-14 dan hari ke-15 masing-masing adalah  $1 \times 10^8$  dan 2.000.805, serta untuk hari ke-16 dan hari ke-17 adalah 0. Hal ini berarti pengontrol MPC memutuskan untuk menjual seluruh saham Unilever yang dimiliki ( $x_1 = 0$ ) akibat dari penurunan harga saham Unilever mulai hari ke-14 sampai dengan hari ke-17. Ketika harga saham Unilever kembali



naik pada hari ke-18, didapatkan nilai  $p_1$  adalah  $1 \times 10^8$ , hal ini berarti pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham Unilever.

Tabel 4.8 Harga dan *return* saham harian serta total modal investor pada hari ke-14 sampai dengan hari ke-17

| Tanggal      | Harga Saham |      |       | Return Saham |          |          | Total Modal Investor |
|--------------|-------------|------|-------|--------------|----------|----------|----------------------|
|              | Unilever    | PGN  | SI    | Unilever     | PGN      | SI       |                      |
| 19 Juni 2013 | 29000       | 5300 | 17800 | -0,01694     | -0,03636 | -0,00280 | 133.892.301          |
| 20 Juni 2013 | 27550       | 5100 | 17500 | -0,05        | -0,03773 | -0,01685 | 133.895.918          |
| 21 Juni 2013 | 27250       | 4800 | 16100 | -0,01088     | -0,05882 | -0,08    | 133.899.935          |
| 24 Juni 2013 | 26400       | 4650 | 15600 | -0,03119     | -0,03125 | -0,03105 | 133.903.952          |

Tabel 4.9 Nilai  $x_1, p_1, q_1, x_2, p_2, q_2, x_3, p_3, q_3$  dan  $x_4$  pada hari ke-14 sampai dengan hari ke-17

| Variabel | Tanggal      |              |              |              |
|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|          | 19 Juni 2013 | 20 Juni 2013 | 21 Juni 2013 | 24 Juni 2013 |
| $x_1$    | 2.000.805    | 0            | 0            | 0            |
| $p_1$    | 0            | 0            | 0            | 0            |
| $q_1$    | 100.000.000  | 2.000.805    | 0            | 0            |
| $x_2$    | 0            | 0            | 0            | 0            |
| $p_2$    | 0            | 0            | 0            | 0            |
| $q_2$    | 0            | 0            | 0            | 0            |
| $x_3$    | 0            | 0            | 0            | 0            |
| $p_3$    | 0            | 0            | 0            | 0            |
| $q_3$    | 31.913.922   | 0            | 0            | 0            |
| $x_4$    | 131.891.496  | 133.895.918  | 133.899.935  | 133.903.952  |

Ketika harga saham PGN menunjukkan tren menurun pada hari ke-14 sampai dengan hari ke-17, pengontrol MPC memutuskan untuk tidak melakukan proses jual beli saham PGN. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.9, di mana  $p_2$  dan  $q_2$  yang bernilai 0 pada 4 hari tersebut. Ketika harga saham PGN kembali naik pada hari ke-18, didapatkan nilai  $p_2$  adalah  $1 \times 10^8$ , hal ini berarti pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham PGN. Karena sejak hari ke-9 pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham PGN, maka  $x_2$  bernilai 0 pada 4 hari tersebut.

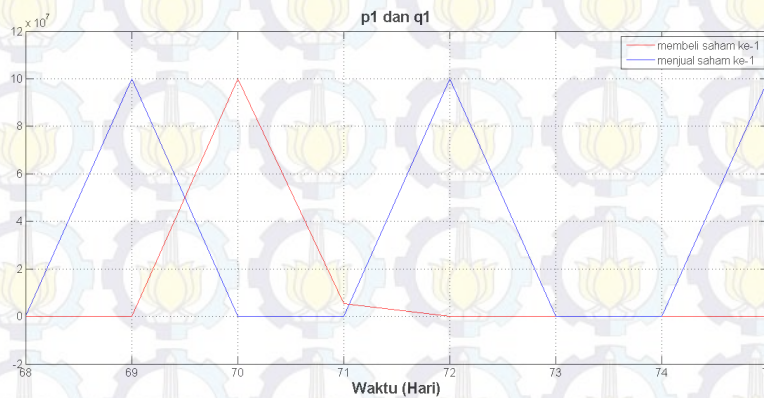
Berdasarkan Tabel 4.9, nilai  $p_3$  untuk hari ke-14 adalah 31.913.922 yang berarti pengontrol MPC memutuskan untuk menjual seluruh saham yang dimiliki investor di Semen Indonesia. Akibat dari penurunan harga saham Semen Indonesia, maka tidak ada proses jual

beli saham Semen Indonesia mulai hari ke-15 sampai dengan hari ke-17. Hal ini dapat dilihat dari  $p_3$ ,  $q_3$ , dan  $x_3$  yang bernilai 0 sejak hari ke-15.

Sebagai akibat dari kontrol tersebut, maka jumlah modal investor di bank mengalami kenaikan setiap harinya mulai hari ke-14 sampai dengan hari ke-17. Hal ini terjadi karena pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham dari ketiga perusahaan dan mentransfer uang hasil penjualan saham tersebut ke rekening bank. Meskipun harga ketiga saham mengalami penurunan, namun jumlah seluruh modal investor yang merupakan *output* dari sistem terus bertambah mulai hari ke-14 sampai dengan hari ke-17. Penjualan saham dari ketiga perusahaan secara bersamaan serta tidak perlunya investor membayarkan sejumlah pinjaman uang menyebabkan modal investor justru mengalami kenaikan saat harga saham turun.

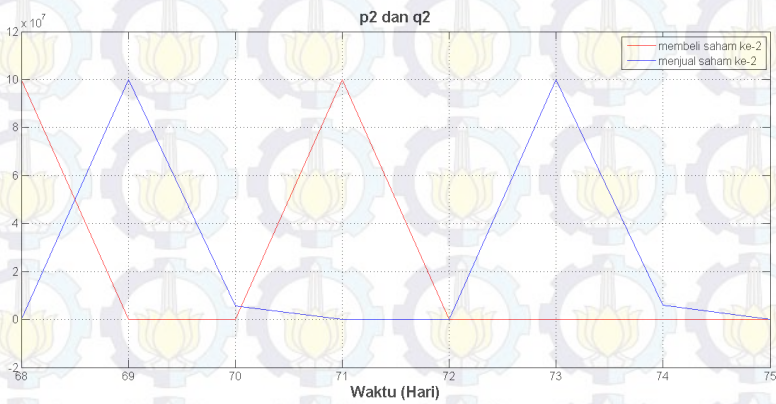
#### 4.4.2 Hasil Simulasi Portofolio Saham Tanpa Pinjaman pada Hari ke-68 sampai Hari ke-75

Nilai dari seluruh *state*, kontrol, serta output dari sistem untuk hari ke-68 (3 September 2013) sampai dengan hari ke-75 (12 September 2013) pada portofolio saham tanpa pinjaman dapat dilihat pada Gambar 4.41 sampai dengan Gambar 4.46.

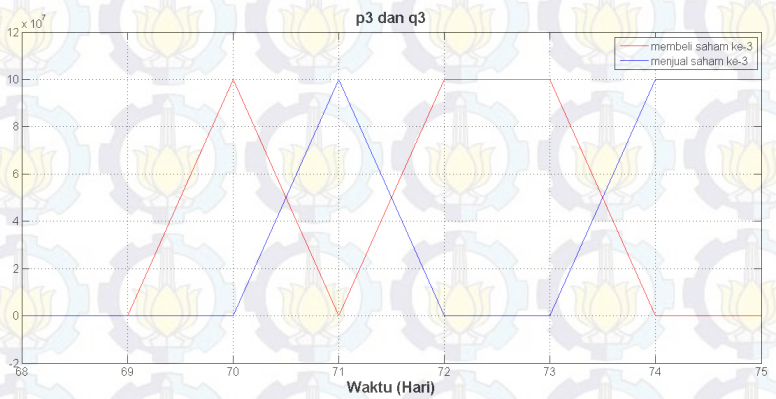


Gambar 4.41 Nilai  $p_1$  dan  $q_1$  untuk hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman

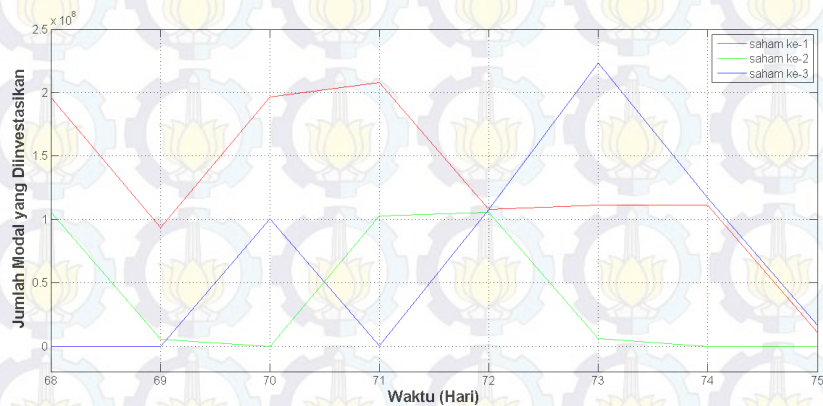




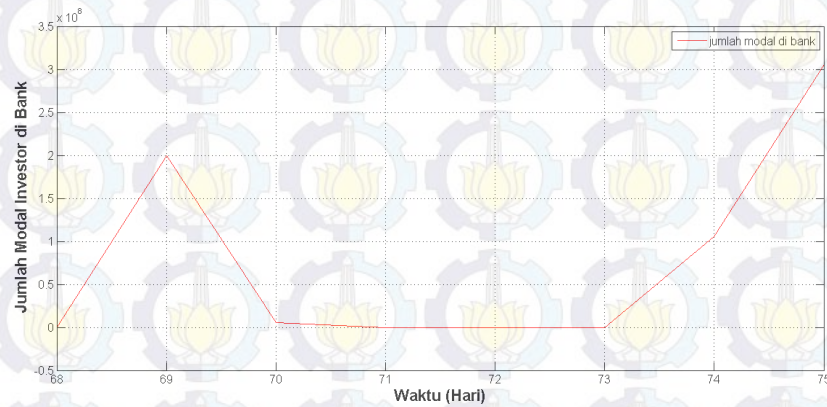
Gambar 4.42 Nilai  $p_2$  dan  $q_2$  untuk hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



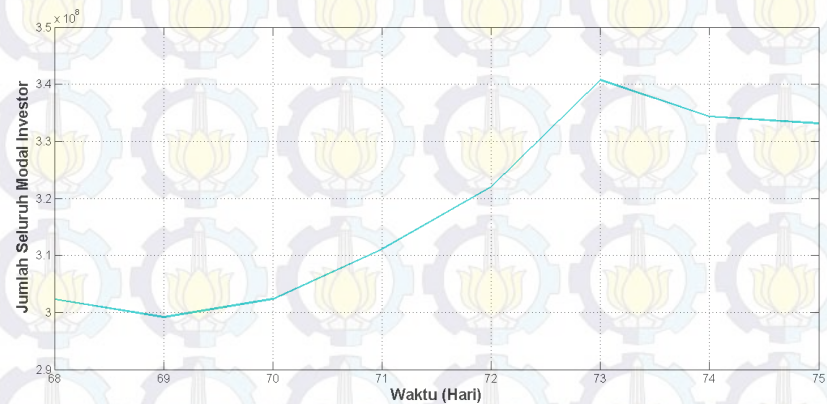
Gambar 4.43 Nilai  $p_3$  dan  $q_3$  untuk hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



Gambar 4.44 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



Gambar 4.45 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



Gambar 4.46 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-68 sampai dengan hari ke-75 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman

Berdasarkan Tabel 4.10, dapat diketahui bahwa pada hari ke-70 (5 September 2013) sampai dengan hari ke-73 (10 September 2013), harga saham Unilever dan Semen Indonesia menunjukkan tren naik, sedangkan untuk harga saham PGN nilainya fluktuatif pada 4 hari tersebut.

Berdasarkan Tabel 4.11, terlihat bahwa nilai  $p_1$  untuk hari ke-70 dan hari ke-71 masing-masing adalah  $1 \times 10^8$  dan 5.495.416, sedangkan untuk hari ke-72 dan hari ke-73 adalah 0. Nilai  $q_1$  untuk hari ke-70 dan hari ke-71 adalah 0, sedangkan untuk hari ke-72 dan hari ke-73 masing-masing adalah  $1 \times 10^8$  dan 0. Nilai  $p_2$  pada hari ke-70, 72, dan 73 adalah 0, sedangkan pada hari ke-71 adalah  $1 \times 10^8$ . Nilai  $q_2$  untuk hari ke-70 sampai dengan hari ke-73 masing-masing adalah 5.611.472, 0, 0, dan  $1 \times 10^8$ . Nilai  $p_3$  pada hari ke-70, 72, dan 73



adalah  $1 \times 10^8$ , sedangkan pada hari ke-71 adalah 0. Nilai  $q_3$  untuk hari ke-71 adalah  $1 \times 10^8$ , sedangkan untuk hari ke-70, 72, dan 73 adalah 0.

Tabel 4.10 Harga dan *return* saham harian serta total modal investor pada hari ke-70 sampai dengan hari ke-73

| Tanggal           | Harga Saham |      |       | Return Saham |          |         | Total Modal Investor |
|-------------------|-------------|------|-------|--------------|----------|---------|----------------------|
|                   | Unilever    | PGN  | SI    | Unilever     | PGN      | SI      |                      |
| 5 September 2013  | 31000       | 5100 | 12350 | 0,01472      | -0,02857 | 0,00406 | 302.375.344          |
| 6 September 2013  | 31900       | 5250 | 12550 | 0,02903      | 0,02941  | 0,01619 | 311.144.423          |
| 9 September 2013  | 32000       | 5400 | 13500 | 0,00313      | 0,02857  | 0,07569 | 321.983.339          |
| 10 September 2013 | 33000       | 5400 | 14500 | 0,03125      | 0        | 0,07407 | 340.729.533          |

Tabel 4.11 Nilai  $x_1$ ,  $p_1$ ,  $q_1$ ,  $x_2$ ,  $p_2$ ,  $q_2$ ,  $x_3$ ,  $p_3$ ,  $q_3$  dan  $x_4$  pada hari ke-70 sampai dengan hari ke-73

| Variabel | Tanggal          |                  |                  |                   |
|----------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
|          | 5 September 2013 | 6 September 2013 | 9 September 2013 | 10 September 2013 |
| $x_1$    | 196.432.324      | 207.790.159      | 108.128.059      | 111.465.802       |
| $p_1$    | 100.000.000      | 5.495.416        | 0                | 0                 |
| $q_1$    | 0                | 0                | 100.000.000      | 0                 |
| $x_2$    | 0                | 102.941.176      | 105.841.201      | 5.841.201         |
| $p_2$    | 0                | 0                | 100.000.000      | 0                 |
| $q_2$    | 5.611.472        | 0                | 0                | 100.000.000       |
| $x_3$    | 100.406.504      | 413.087          | 108.014.077      | 223.422.528       |
| $p_3$    | 100.000.000      | 0                | 100.000.000      | 100.000.000       |
| $q_3$    | 0                | 100.000.000      | 0                | 0                 |
| $x_4$    | 5.536.514        | 0                | 0                | 0                 |

Pada hari ke-70 pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham PGN, dan dana hasil penjualan tersebut digunakan untuk melakukan pembelian saham Unilever dan Semen Indonesia. Pada hari ke-71 ketika nilai *return* saham Unilever dan PGN memiliki nilai yang jauh lebih tinggi dibandingkan *return* saham Semen Indonesia, pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham Semen Indonesia dan menggunakan dana tersebut untuk membeli saham Unilever dan PGN.

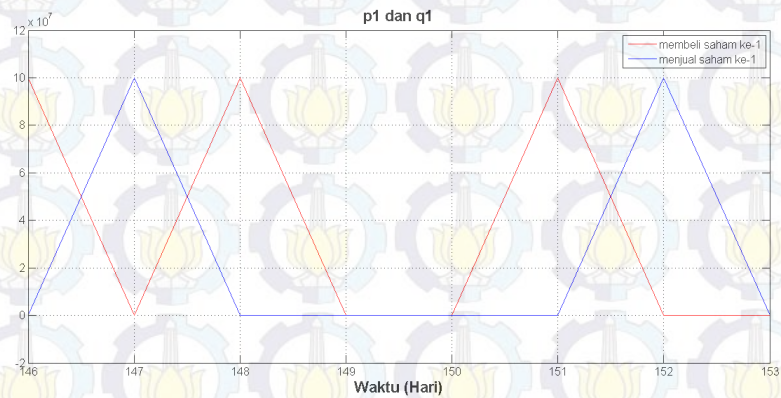
Sebaliknya pada hari ke-72 dan 73 ketika nilai *return* saham Semen Indonesia jauh lebih besar dibandingkan *return* kedua saham lainnya, pengontrol MPC memutuskan untuk

menjual saham Unilever dan PGN serta menggunakan dana tersebut untuk membeli saham Semen Indonesia.

Sebagai akibat dari kontrol tersebut, maka jumlah modal investor di bank turun pada hari ke-71 sampai dengan hari ke-73. Hal ini terjadi karena dana yang dimiliki oleh investor digunakan untuk menutupi seluruh biaya transaksi pada proses jual beli saham selama 4 hari tersebut. Jumlah seluruh modal investor yang merupakan *output* dari sistem terus meningkat pada hari ke-70 sampai dengan hari ke-73 akibat dari kenaikan harga saham ketiga perusahaan.

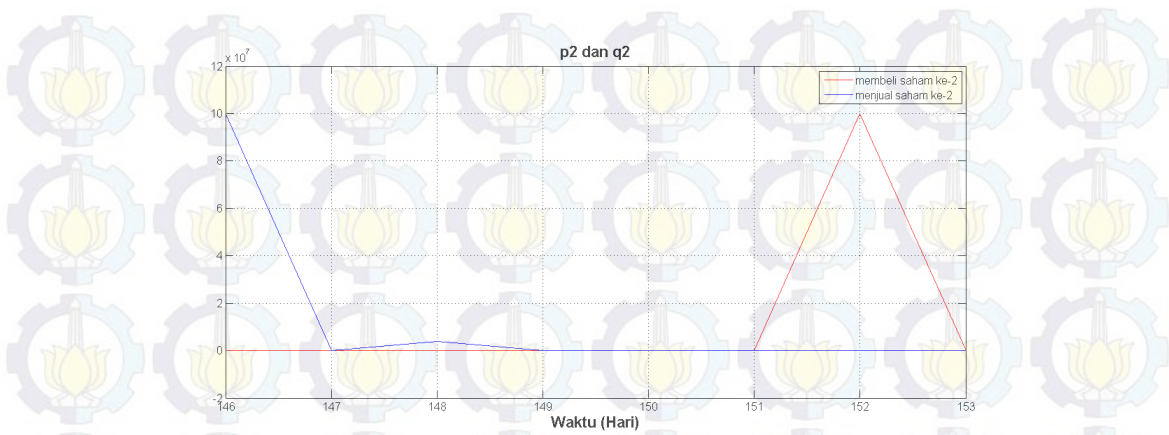
#### 4.4.3 Hasil Simulasi Portofolio Saham Tanpa Pinjaman pada Hari ke-146 sampai Hari ke-153

Nilai dari seluruh *state*, kontrol, serta output dari sistem untuk hari ke-146 (20 Desember 2013) sampai dengan hari ke-153 (31 Desember 2013) pada portofolio saham tanpa pinjaman dapat dilihat pada Gambar 4.47 sampai dengan Gambar 4.52.

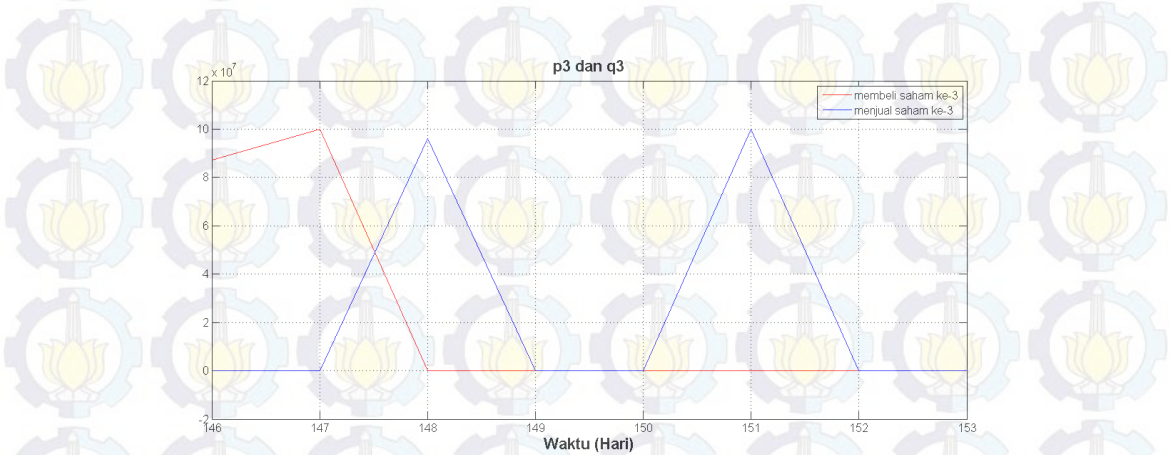


Gambar 4.47 Nilai  $p_1$  dan  $q_1$  untuk hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman

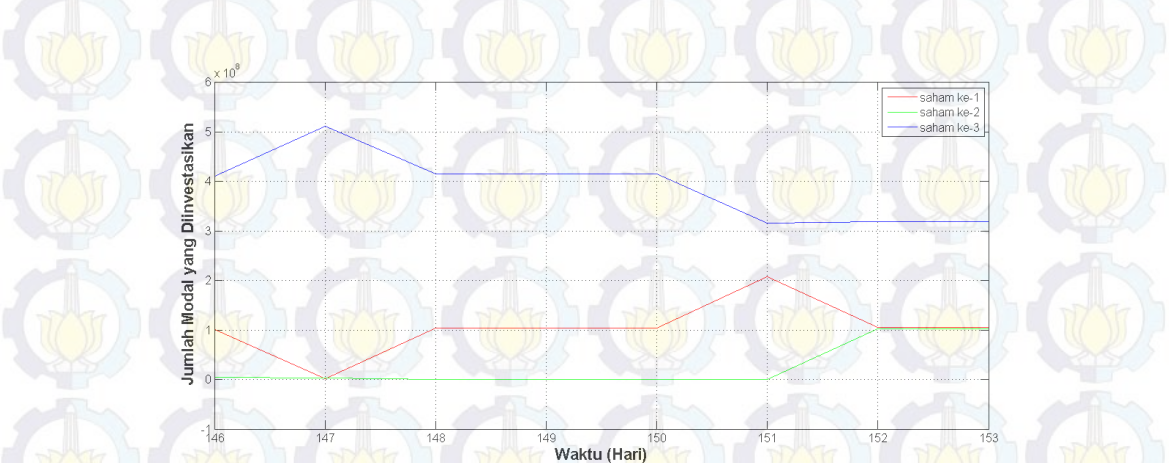




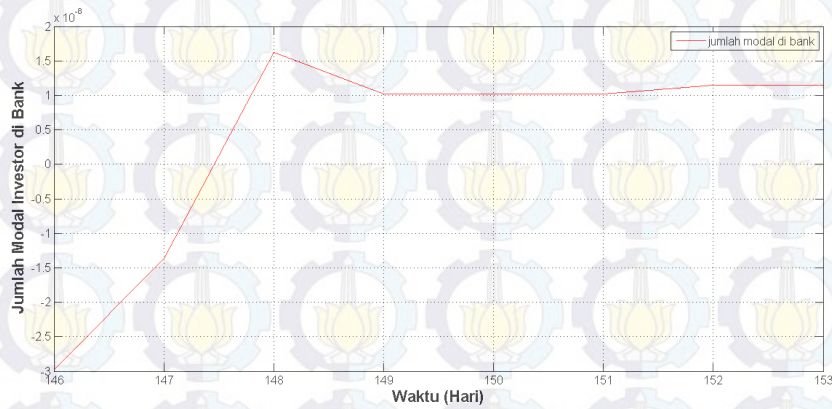
Gambar 4.48 Nilai  $p_2$  dan  $q_2$  untuk hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



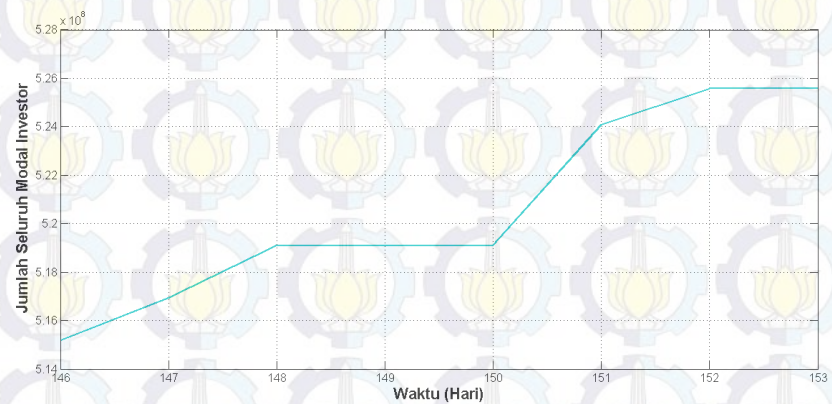
Gambar 4.49 Nilai  $p_3$  dan  $q_3$  untuk hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



Gambar 4.50 Perubahan modal investor pada masing-masing aset berisiko hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



Gambar 4.51 Perubahan modal investor pada aset bebas risiko hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman



Gambar 4.52 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada hari ke-146 sampai dengan hari ke-153 di dalam portofolio saham tanpa pinjaman

Berdasarkan Tabel 4.12, dapat diketahui bahwa pada hari ke-148 (24 Desember 2013) dan hari ke-151 (27 Desember 2013), *return* saham Unilever bernilai positif, artinya adalah harga saham pada hari tersebut naik jika dibandingkan dengan hari sebelumnya. Sedangkan pada hari ke-149 dan 150 harga saham Unilever tetap. Agar investor mendapatkan keuntungan dari kenaikan harga saham Unilever, pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham Unilever. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.13 di mana nilai  $p_1$  sebesar  $1 \times 10^8$  untuk hari ke-148 dan 99.960.008 untuk hari ke-151. Sedangkan nilai  $p_1$  adalah 0 untuk hari ke-149 dan 150. Karena tidak ada proses penjualan saham Unilever selama 4 hari tersebut, maka nilai  $q_1$  adalah 0.



Tabel 4.12 Harga dan *return* saham harian serta total modal investor pada hari ke-148 sampai dengan hari ke-151

| Tanggal          | Harga Saham |      |       | Return Saham |          |         | Total Modal Investor |
|------------------|-------------|------|-------|--------------|----------|---------|----------------------|
|                  | Unilever    | PGN  | SI    | Unilever     | PGN      | SI      |                      |
| 24 Desember 2013 | 26100       | 4475 | 14000 | 0,02152      | -0,00555 | 0       | 519.089.903          |
| 25 Desember 2013 | 26100       | 4475 | 14000 | 0            | 0        | 0       | 519.089.903          |
| 26 Desember 2013 | 26100       | 4475 | 14000 | 0            | 0        | 0       | 519.089.903          |
| 27 Desember 2013 | 26600       | 4400 | 14050 | 0,01915      | -0,01675 | 0,00357 | 524.074.950          |

Tabel 4.13 Nilai  $x_1$ ,  $p_1$ ,  $q_1$ ,  $x_2$ ,  $p_2$ ,  $q_2$ ,  $x_3$ ,  $p_3$ ,  $q_3$  dan  $x_4$  pada hari ke-148 sampai dengan hari ke-151

| Variabel | Tanggal          |                  |                  |                  |
|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|          | 24 Desember 2013 | 25 Desember 2013 | 26 Desember 2013 | 27 Desember 2013 |
| $x_1$    | 103.514.835      | 103.514.835      | 103.514.835      | 207.372.828      |
| $p_1$    | 100.000.000      | 0                | 0                | 99.960.008       |
| $q_1$    | 0                | 0                | 0                | 0                |
| $x_2$    | 0                | 0                | 0                | 0                |
| $p_2$    | 0                | 0                | 0                | 0                |
| $q_2$    | 3.779.422        | 0                | 0                | 0                |
| $x_3$    | 415.575.068      | 415.575.068      | 415.575.068      | 316.702.121      |
| $p_3$    | 0                | 0                | 0                | 0                |
| $q_3$    | 96.260.586       | 0                | 0                | 100.000.000      |
| $x_4$    | 0                | 0                | 0                | 0                |

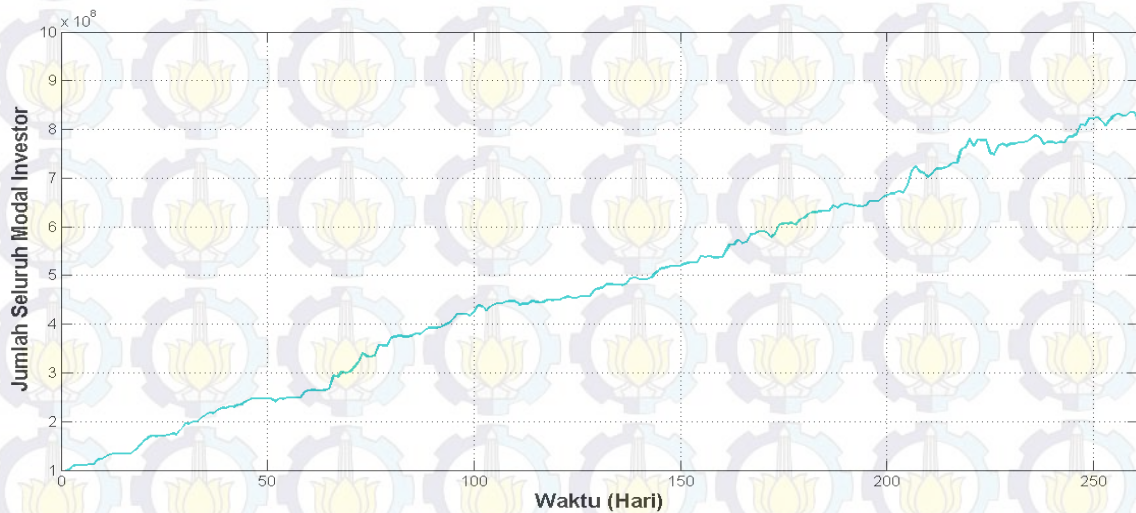
Harga saham PGN menunjukkan tren turun pada hari ke-148 sampai dengan hari ke-151, sehingga untuk menghindarkan investor dari kerugian yang terlalu besar pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham PGN. Berdasarkan Tabel 4.13, terlihat nilai  $p_2$  dan  $q_2$  untuk hari ke-148 sampai dengan hari ke-151 adalah 0, yang berarti tidak ada proses jual beli untuk saham PGN. Ketika harga saham PGN kembali naik pada hari ke-152, didapatkan nilai  $p_2$  adalah  $1 \times 10^8$ , hal ini berarti pengontrol MPC memutuskan untuk membeli saham PGN.

Pada hari ke-148 ketika *return* saham Semen Indonesia bernilai 0, pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham Semen Indonesia dan dana hasil penjualan tersebut digunakan untuk membeli saham Unilever. Ketika nilai saham Semen Indonesia tetap pada hari ke-149 dan hari ke-150, pengontrol MPC memutuskan untuk tidak melakukan proses jual beli saham Semen Indonesia. Pada hari ke-151 *return* saham Semen Indonesia jauh lebih



kecil jika dibandingkan dengan *return* saham Unilever, akibatnya pengontrol MPC memutuskan untuk menjual saham Semen Indonesia dan dana hasil penjualan tersebut digunakan untuk membeli saham Unilever. Sebagai akibat dari kontrol tersebut, maka jumlah modal investor di bank tetap mulai hari ke-148 sampai dengan hari ke-151. Jumlah seluruh modal investor tidak berubah mulai hari ke-148 sampai dengan hari ke-151 serta mengalami kenaikan pada hari ke-152.

Jumlah modal yang dimiliki oleh investor pada seluruh asetnya di dalam portofolio saham tanpa pinjaman dapat dilihat pada Gambar 4.53.

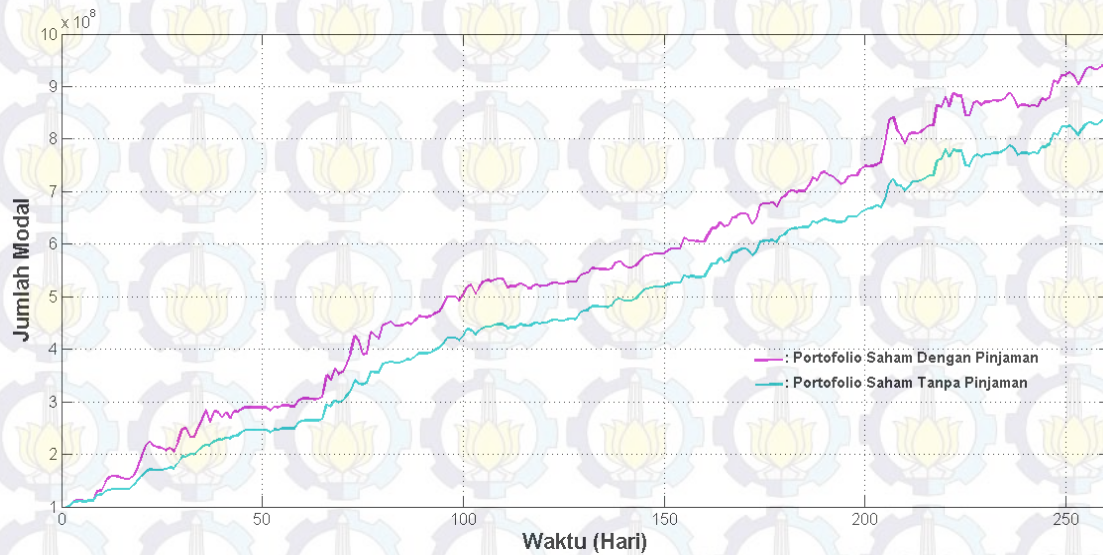


Gambar 4.53 Perubahan seluruh modal yang dimiliki investor pada portofolio saham tanpa pinjaman

Berdasarkan Gambar 4.53, dapat dilihat bahwa modal yang dimiliki oleh investor pada seluruh asetnya mengalami kenaikan. Pada kondisi awal jumlah modal yang dimiliki investor adalah  $1 \times 10^8$ , dan pada kondisi akhir jumlah modal yang dimiliki investor adalah 810.908.874. Kenaikan ini terjadi karena jumlah modal yang diinvestasikan pada portofolio saham berusaha untuk mencapai *reference trajectory* yang ditetapkan sebelumnya, yaitu  $1 \times 10^9$ . Pada beberapa hari terlihat bahwa modal investor mengalami penurunan, hal ini terjadi karena pada hari tersebut *return* dari saham bernilai negatif, sehingga investor mengalami kerugian. Akan tetapi, kerugian ini dapat ditutupi oleh keuntungan di beberapa hari berikutnya, sehingga secara keseluruhan jumlah modal investor mengalami kenaikan.



Gambar 4.54 menunjukkan perbandingan jumlah seluruh modal yang dimiliki oleh investor pada portofolio saham dengan adanya pinjaman dan tanpa adanya pinjaman.

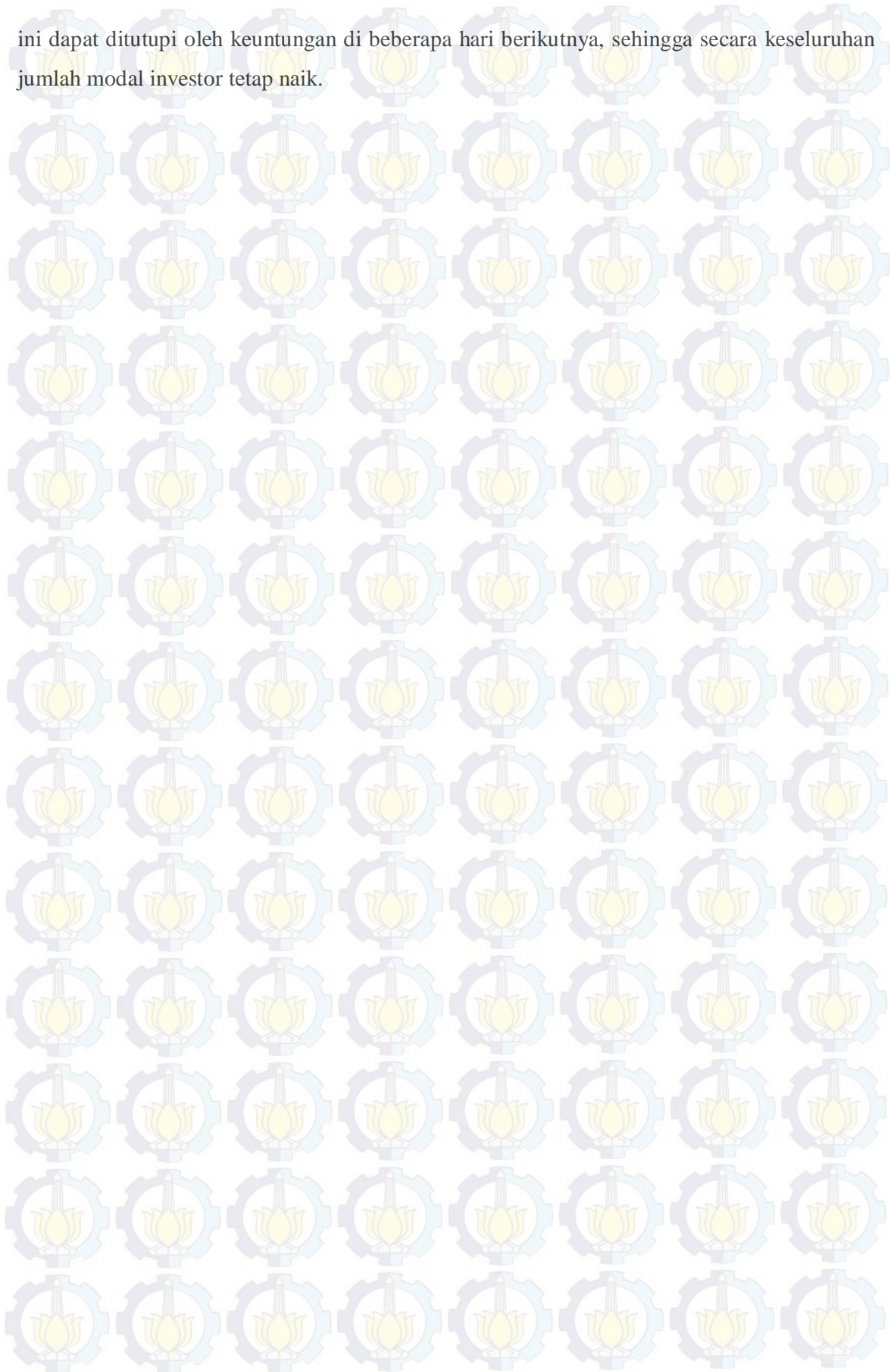


Gambar 4.54 Perbandingan jumlah seluruh modal investor pada portofolio saham dengan pinjaman dan tanpa pinjaman

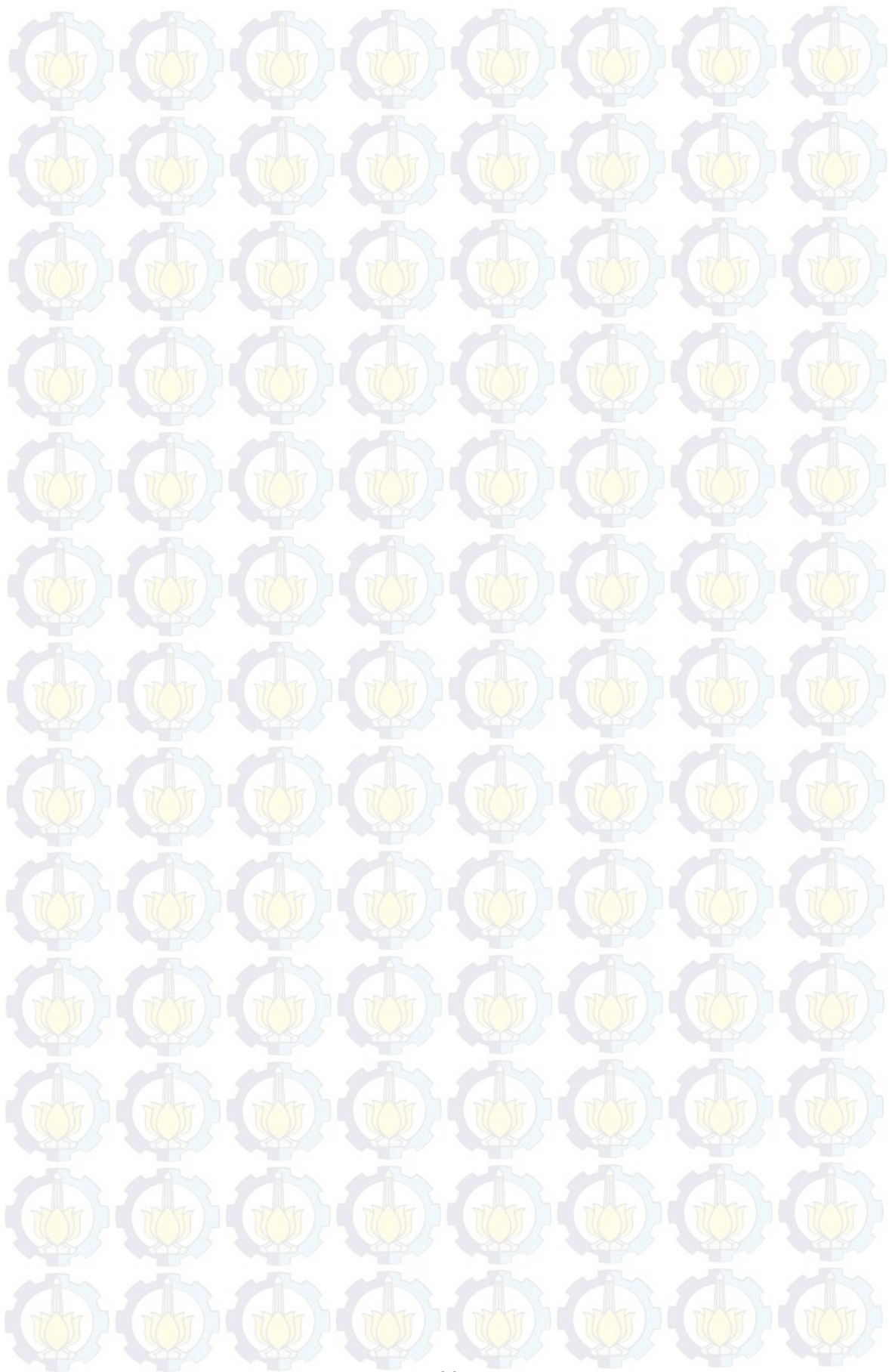
Berdasarkan Gambar 4.54 terlihat bahwa portofolio saham dengan adanya pinjaman lebih menguntungkan jika dibandingkan portofolio saham tanpa adanya pinjaman. Pada portofolio saham tanpa pinjaman, investor tidak mendapatkan dana tambahan dari pinjaman sehingga jumlah dana yang digunakan untuk melakukan proses jual beli saham sangat terbatas. Akibatnya investor hanya bisa membeli maksimal 2 saham perusahaan setiap harinya dengan cara menjual saham satu perusahaan lainnya. Hal yang berbeda terjadi pada portofolio saham dengan adanya pinjaman, di mana investor bebas membeli saham dari 3 perusahaan sekaligus tanpa takut kekurangan modal. Sebagai akibat dari terbatasnya dana yang dimiliki oleh investor pada portofolio saham tanpa pinjaman, maka jumlah modal yang dimiliki oleh investor pada portofolio saham tanpa pinjaman lebih sedikit jika dibandingkan dengan portofolio saham dengan pinjaman.

Pada kondisi awal jumlah modal yang dimiliki investor adalah  $1 \times 10^8$ . Pada kondisi akhir jumlah modal yang dimiliki investor pada portofolio dengan pinjaman adalah 902.073.382, sedangkan jumlah modal investor pada portofolio tanpa adanya pinjaman adalah 810.908.874. Secara umum jumlah modal investor pada beberapa hari mengalami penurunan akibat penurunan harga saham, sehingga investor mengalami kerugian. Akan tetapi, kerugian

ini dapat ditutupi oleh keuntungan di beberapa hari berikutnya, sehingga secara keseluruhan jumlah modal investor tetap naik.







## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini disimpulkan hasil analisis pengendali dengan metode *model predictive control* (MPC) pada permasalahan optimisasi portofolio saham beserta simulasinya menggunakan *software* MATLAB. Selain itu diberikan saran atau rekomendasi untuk penelitian berikutnya.

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis pengendali MPC beserta simulasinya, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengendali *model predictive control* (MPC) dapat diterapkan dengan baik pada permasalahan optimisasi portofolio saham baik dengan pinjaman maupun tanpa pinjaman. MPC dapat memberikan nilai kontrol yang optimal dengan adanya kendala pada *state* dan kontrol pada sistem. Seluruh nilai kontrol berada pada batasan *constraint* yang diberikan. Pengontrol MPC berusaha untuk mengurangi kerugian yang akan terjadi pada investor ketika harga saham pada salah satu perusahaan mengalami penurunan. Selain itu pengontrol MPC bertindak sebagai pengambil keputusan mengenai kapan waktu yang tepat untuk meminjam modal dan kapan waktu yang tepat untuk mengembalikan pinjaman modal pada portofolio saham dengan pinjaman. Ketika jumlah uang di bank akan mencapai 0, pada saat itu investor membutuhkan tambahan modal untuk menutupi biaya transaksi yang diperlukan dalam membentuk portofolio saham. Dengan demikian pengontrol MPC akan memutuskan untuk meminjam sejumlah uang agar dapat menutupi seluruh biaya transaksi yang digunakan pada portofolio saham. Jumlah modal yang dimiliki oleh investor yang merupakan *output* dari sistem mengalami kenaikan setiap harinya.
2. Hasil simulasi dengan MPC pada portofolio saham dengan atau tanpa pinjaman, terlihat bahwa seluruh nilai  $p_i$  dan  $q_i$ , untuk  $i = 1, 2, 3$ , berada dalam batasan *constraint* yang ditetapkan yaitu antara 0 dan  $1 \times 10^8$ . Selain itu nilai kontrol  $v(k)$  juga berada dalam batasan *constraint* yaitu antara  $-1 \times 10^8$  dan  $1 \times 10^8$ . Dari hasil simulasi terlihat bahwa nilai *return* saham harian berpengaruh terhadap jumlah modal yang diinvestasikan pada masing-masing saham setiap harinya. Pada kondisi awal jumlah modal yang dimiliki



investor adalah  $1 \times 10^8$ . Pada kondisi akhir jumlah modal yang dimiliki investor pada portofolio saham dengan pinjaman adalah 902.073.382, sedangkan jumlah modal investor pada portofolio saham tanpa adanya pinjaman adalah 810.908.874. Kenaikan ini terjadi karena jumlah modal yang diinvestasikan pada portofolio saham berusaha untuk mencapai *reference trajectory* yang ditetapkan sebelumnya, yaitu  $10 \times 10^8$ . Secara umum jumlah modal investor pada beberapa hari mengalami penurunan akibat penurunan harga saham, sehingga investor mengalami kerugian. Akan tetapi, kerugian ini dapat ditutupi oleh keuntungan di beberapa hari berikutnya, sehingga secara keseluruhan jumlah modal investor tetap naik.

## 5.2 Saran

Saran yang penulis berikan untuk penelitian berikutnya adalah :

1. Pada tesis ini penulis mempertimbangkan kendala yang terdapat pada transfer dana dari dan ke dalam aset bebas risiko, transfer dana dari dan ke rekening pinjaman, jumlah maksimum dana pinjaman, serta jumlah minimum dana di aset saham dan bank. Pada penelitian berikutnya dapat dipertimbangkan penambahan kendala *Value at Risk* (VaR) pada sistem manajemen portofolio saham. Tujuannya adalah mempertimbangkan pengukuran risiko investasi dalam pembentukan portofolio saham.
2. Pada penelitian ini penulis menggunakan data *return* saham harian dari ketiga perusahaan sebagai salah satu variabel pembentuk matriks ruang keadaan. Pada penelitian selanjutnya dapat digunakan metode estimasi untuk menghitung nilai saham harian dan *return* saham harian sehingga diperoleh matriks persamaan ruang keadaan hasil estimasi yang selanjutnya dapat digabungkan dengan metode optimasi untuk mendapatkan portofolio saham yang optimal.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Halim, A. (2003), *Analisis Investasi*, Salemba Empat, Jakarta.
- [2] Bordons, C. & Camacho, E. F. (1999), *Model Predictive Control*, Springer-Verlag London Limited, Sevilla.
- [3] Subchan, Syaifudin, W.H. dan Asfihani, T. (2014), "Ship Heading Control of Corvette Sigma With Disturbance Using Model Predictive Control", *Far East Journal of Applied Mathematics*, Vol. 87, No 3, hal. 245-256.
- [4] Yuninda, N.H. (2008), *Simulasi Pengendalian Kadar Glukosa Penderita Diabetes Mellitus Tipe 1 Berbasis Metode Aktif Set Model Predictive Control (MPC) Dengan Constraints*. Tesis Magister Teknik Elektro, Program Pascasarjana Bidang Ilmu Teknik, Prodi Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Jakarta.
- [5] Seki, H., dkk. (2001), "Industrial Application Of Nonlinear Model Predictive Control to Polymerization Reactors", *Journal of Control Engineering Practice*, Vol 9, hal. 819-828.
- [6] Markowitz, H. (1952), "Portfolio Selection", *Journal of Finance*, Vol. 7, No. 1, hal. 77-91.
- [7] Primbs, J.A. (2007), "Portfolio Optimization Applications of Stochastic Receding Horizon Control", *Proceedings of the 2007 American Control Conference*, hal. 1811-1816.
- [8] Husnan, S. (2001), *Dasar-Dasar Teori Portofolio dan Analisis Sekuritas*, Edisi Ketiga, UPP AMP YKPN, Yogyakarta.
- [9] Yuliati, S.H., dkk. (1996), *Manajemen Portofolio dan Analisis Investasi*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [10] Dombrovskiy, V.V, Dombrovskiy, D.V, dan Lyashenko, E.A. (2004), "Investment Portfolio Optimization with Transaction Costs and Constraints Using Model Predictive Control", *KORUS 2004 Proceedings The 8<sup>th</sup> Russian-Korean International Symposium*, Vol. 3, hal 202-205.
- [11] Wang, J., dkk. (2007), "An Experiment of Control-theoretical Model in Dynamic Portfolio Management", *Innovative Computing, Information and Control, ICICIC '07. Second International Conference*, hal. 114.
- [12] Wang, L. (2009), *Model Predictive Control System Design and Implementation using MATLAB*, Springer, Melbourne.



[13]Anonim, (2014), *Data Saham Harian Unilever, Perusahaan Gas Negara, dan Semen Indonesia*, Diakses pada Tanggal 10 Desember 2014. Data ini dapat didownload di website: <http://www.finance.yahoo.com>



## LAMPIRAN

### A. Data Saham Harian Unilever

| <b>Tanggal</b> | <b>Harga Closing Saham Harian</b> | <b>Return</b> |
|----------------|-----------------------------------|---------------|
| 31/05/2013     | 30500                             |               |
| 03/06/2013     | 29050                             | -0,047540984  |
| 04/06/2013     | 31300                             | 0,077452668   |
| 05/06/2013     | 31000                             | -0,009584665  |
| 06/06/2013     | 31000                             | 0             |
| 07/06/2013     | 28900                             | -0,067741935  |
| 10/06/2013     | 27700                             | -0,041522491  |
| 11/06/2013     | 26900                             | -0,028880866  |
| 12/06/2013     | 29450                             | 0,094795539   |
| 13/06/2013     | 27800                             | -0,056027165  |
| 14/06/2013     | 28850                             | 0,037769784   |
| 17/06/2013     | 28900                             | 0,001733102   |
| 18/06/2013     | 29500                             | 0,020761246   |
| 19/06/2013     | 29000                             | -0,016949153  |
| 20/06/2013     | 27550                             | -0,05         |
| 21/06/2013     | 27250                             | -0,010889292  |
| 24/06/2013     | 26400                             | -0,031192661  |
| 25/06/2013     | 26000                             | -0,015151515  |
| 26/06/2013     | 28000                             | 0,076923077   |
| 27/06/2013     | 29400                             | 0,05          |
| 28/06/2013     | 30750                             | 0,045918367   |
| 01/07/2013     | 29550                             | -0,03902439   |
| 02/07/2013     | 29950                             | 0,013536379   |
| 03/07/2013     | 28300                             | -0,05509182   |
| 04/07/2013     | 28200                             | -0,003533569  |
| 05/07/2013     | 29300                             | 0,039007092   |
| 08/07/2013     | 28000                             | -0,044368601  |
| 09/07/2013     | 27850                             | -0,005357143  |
| 10/07/2013     | 29400                             | 0,055655296   |
| 11/07/2013     | 31650                             | 0,076530612   |
| 12/07/2013     | 31000                             | -0,020537125  |
| 15/07/2013     | 31750                             | 0,024193548   |
| 16/07/2013     | 31750                             | 0             |
| 17/07/2013     | 32900                             | 0,036220472   |
| 18/07/2013     | 33900                             | 0,030395137   |
| 19/07/2013     | 34600                             | 0,020648968   |
| 22/07/2013     | 33000                             | -0,046242775  |
| 23/07/2013     | 34000                             | 0,03030303    |
| 24/07/2013     | 34000                             | 0             |



|            |       |              |
|------------|-------|--------------|
| 25/07/2013 | 32850 | -0,033823529 |
| 26/07/2013 | 32950 | 0,00304414   |
| 29/07/2013 | 31800 | -0,034901366 |
| 30/07/2013 | 32200 | 0,012578616  |
| 31/07/2013 | 31800 | -0,01242236  |
| 01/08/2013 | 31950 | 0,004716981  |
| 02/08/2013 | 31450 | -0,015649452 |
| 05/08/2013 | 31450 | 0            |
| 06/08/2013 | 31450 | 0            |
| 07/08/2013 | 31450 | 0            |
| 08/08/2013 | 31450 | 0            |
| 09/08/2013 | 31450 | 0            |
| 12/08/2013 | 30000 | -0,046104928 |
| 13/08/2013 | 31350 | 0,045        |
| 14/08/2013 | 31250 | -0,003189793 |
| 15/08/2013 | 30700 | -0,0176      |
| 16/08/2013 | 30700 | 0            |
| 19/08/2013 | 29200 | -0,048859935 |
| 20/08/2013 | 28900 | -0,010273973 |
| 21/08/2013 | 29500 | 0,020761246  |
| 22/08/2013 | 29750 | 0,008474576  |
| 23/08/2013 | 29000 | -0,025210084 |
| 26/08/2013 | 28300 | -0,024137931 |
| 27/08/2013 | 27850 | -0,01590106  |
| 28/08/2013 | 28000 | 0,005385996  |
| 29/08/2013 | 28350 | 0,0125       |
| 30/08/2013 | 31200 | 0,100529101  |
| 02/09/2013 | 30600 | -0,019230769 |
| 03/09/2013 | 31500 | 0,029411765  |
| 04/09/2013 | 30550 | -0,03015873  |
| 05/09/2013 | 31000 | 0,014729951  |
| 06/09/2013 | 31900 | 0,029032258  |
| 09/09/2013 | 32000 | 0,003134796  |
| 10/09/2013 | 33000 | 0,03125      |
| 11/09/2013 | 33000 | 0            |
| 12/09/2013 | 30850 | -0,065151515 |
| 13/09/2013 | 30700 | -0,004862237 |
| 16/09/2013 | 32150 | 0,04723127   |
| 17/09/2013 | 31500 | -0,020217729 |
| 18/09/2013 | 30750 | -0,023809524 |
| 19/09/2013 | 31600 | 0,027642276  |
| 20/09/2013 | 32000 | 0,012658228  |
| 23/09/2013 | 31950 | -0,0015625   |
| 24/09/2013 | 31500 | -0,014084507 |
| 25/09/2013 | 31500 | 0            |



|            |       |              |
|------------|-------|--------------|
| 26/09/2013 | 30800 | -0,022222222 |
| 27/09/2013 | 30950 | 0,00487013   |
| 30/09/2013 | 30150 | -0,025848142 |
| 01/10/2013 | 30300 | 0,004975124  |
| 02/10/2013 | 31000 | 0,02310231   |
| 03/10/2013 | 30900 | -0,003225806 |
| 04/10/2013 | 30700 | -0,006472492 |
| 07/10/2013 | 30300 | -0,013029316 |
| 08/10/2013 | 30450 | 0,004950495  |
| 09/10/2013 | 30250 | -0,006568144 |
| 10/10/2013 | 30300 | 0,001652893  |
| 11/10/2013 | 30750 | -0,014851485 |
| 14/10/2013 | 30750 | 0            |
| 15/10/2013 | 30750 | 0            |
| 16/10/2013 | 30100 | -0,021138211 |
| 17/10/2013 | 30600 | 0,016611296  |
| 18/10/2013 | 30800 | 0,006535948  |
| 21/10/2013 | 31500 | 0,022727273  |
| 22/10/2013 | 30800 | -0,022222222 |
| 23/10/2013 | 31700 | 0,029220779  |
| 24/10/2013 | 32150 | 0,014195584  |
| 25/10/2013 | 32050 | -0,00311042  |
| 28/10/2013 | 32000 | -0,001560062 |
| 29/10/2013 | 31800 | -0,00625     |
| 30/10/2013 | 31250 | -0,017295597 |
| 31/10/2013 | 30000 | -0,04        |
| 01/11/2013 | 29800 | -0,006666667 |
| 04/11/2013 | 29850 | 0,001677852  |
| 05/11/2013 | 29850 | 0            |
| 06/11/2013 | 30800 | 0,031825796  |
| 07/11/2013 | 30200 | -0,019480519 |
| 08/11/2013 | 30150 | -0,001655629 |
| 11/11/2013 | 29800 | -0,011608624 |
| 12/11/2013 | 29800 | 0            |
| 13/11/2013 | 29600 | -0,006711409 |
| 14/11/2013 | 29900 | 0,010135135  |
| 15/11/2013 | 29000 | -0,030100334 |
| 18/11/2013 | 29500 | 0,017241379  |
| 19/11/2013 | 29200 | -0,010169492 |
| 20/11/2013 | 28700 | -0,017123288 |
| 21/11/2013 | 27550 | -0,040069686 |
| 22/11/2013 | 27450 | -0,003629764 |
| 25/11/2013 | 27800 | 0,012750455  |
| 26/11/2013 | 26000 | -0,064748201 |
| 27/11/2013 | 26700 | 0,026923077  |



|            |       |              |
|------------|-------|--------------|
| 28/11/2013 | 26650 | -0,001872659 |
| 29/11/2013 | 26600 | -0,001876173 |
| 02/12/2013 | 27050 | 0,016917293  |
| 03/12/2013 | 26250 | -0,029574861 |
| 04/12/2013 | 25800 | -0,017142857 |
| 05/12/2013 | 25500 | -0,011627907 |
| 06/12/2013 | 25500 | 0            |
| 09/12/2013 | 26250 | 0,029411765  |
| 10/12/2013 | 26800 | 0,020952381  |
| 11/12/2013 | 26600 | -0,007462687 |
| 12/12/2013 | 26500 | -0,003759398 |
| 13/12/2013 | 25950 | -0,020754717 |
| 16/12/2013 | 25750 | -0,007707129 |
| 17/12/2013 | 26000 | 0,009708738  |
| 18/12/2013 | 25900 | -0,003846154 |
| 19/12/2013 | 25900 | 0            |
| 20/12/2013 | 26000 | 0,003861004  |
| 23/12/2013 | 25550 | -0,017307692 |
| 24/12/2013 | 26100 | 0,021526419  |
| 25/12/2013 | 26100 | 0            |
| 26/12/2013 | 26100 | 0            |
| 27/12/2013 | 26600 | 0,019157088  |
| 30/12/2013 | 26000 | -0,022556391 |
| 31/12/2013 | 26000 | 0            |
| 01/01/2014 | 26000 | 0            |
| 02/01/2014 | 26800 | 0,030769231  |
| 03/01/2014 | 26500 | -0,01119403  |
| 06/01/2014 | 26750 | 0,009433962  |
| 07/01/2014 | 26200 | -0,020560748 |
| 08/01/2014 | 26200 | 0            |
| 09/01/2014 | 26075 | -0,004770992 |
| 10/01/2014 | 25900 | -0,006711409 |
| 13/01/2014 | 27025 | 0,043436293  |
| 14/01/2014 | 27025 | 0            |
| 15/01/2014 | 28025 | 0,037002775  |
| 16/01/2014 | 27800 | -0,008028546 |
| 17/01/2014 | 27650 | -0,005395683 |
| 20/01/2014 | 28050 | 0,014466546  |
| 21/01/2014 | 28150 | 0,003565062  |
| 22/01/2014 | 28500 | 0,012433393  |
| 23/01/2014 | 28575 | 0,002631579  |
| 24/01/2014 | 28075 | -0,017497813 |
| 27/01/2014 | 27125 | -0,033837934 |
| 28/01/2014 | 27700 | 0,021198157  |
| 29/01/2014 | 28500 | 0,028880866  |



|            |       |              |
|------------|-------|--------------|
| 30/01/2014 | 28550 | 0,001754386  |
| 31/01/2014 | 28550 | 0            |
| 03/02/2014 | 28400 | -0,00525394  |
| 04/02/2014 | 27850 | -0,019366197 |
| 05/02/2014 | 28125 | 0,009874327  |
| 06/02/2014 | 28200 | 0,002666667  |
| 07/02/2014 | 28225 | 0,000886525  |
| 10/02/2014 | 28100 | -0,004428698 |
| 11/02/2014 | 27600 | -0,017793594 |
| 12/02/2014 | 28000 | 0,014492754  |
| 13/02/2014 | 28125 | 0,004464286  |
| 14/02/2014 | 28375 | 0,008888889  |
| 17/02/2014 | 28375 | 0            |
| 18/02/2014 | 28075 | -0,010572687 |
| 19/02/2014 | 28400 | 0,011576135  |
| 20/02/2014 | 28300 | -0,003521127 |
| 21/02/2014 | 28400 | 0,003533569  |
| 24/02/2014 | 28375 | -0,000880282 |
| 25/02/2014 | 28400 | 0,000881057  |
| 26/02/2014 | 28025 | -0,013204225 |
| 27/02/2014 | 28025 | 0            |
| 28/02/2014 | 28575 | 0,019625335  |
| 03/03/2014 | 28275 | -0,010498688 |
| 04/03/2014 | 28025 | -0,008841733 |
| 05/03/2014 | 28125 | 0,003568243  |
| 06/03/2014 | 28300 | 0,006222222  |
| 07/03/2014 | 28125 | -0,006183746 |
| 10/03/2014 | 28250 | 0,004444444  |
| 11/03/2014 | 28475 | 0,007964602  |
| 12/03/2014 | 29000 | 0,018437226  |
| 13/03/2014 | 30300 | 0,044827586  |
| 14/03/2014 | 30875 | 0,018976898  |
| 17/03/2014 | 29725 | -0,037246964 |
| 18/03/2014 | 28975 | -0,025231287 |
| 19/03/2014 | 28900 | -0,002588438 |
| 20/03/2014 | 28125 | -0,026816609 |
| 21/03/2014 | 28125 | 0            |
| 24/03/2014 | 28300 | 0,006222222  |
| 25/03/2014 | 28250 | -0,001766784 |
| 26/03/2014 | 28725 | 0,016814159  |
| 27/03/2014 | 28700 | -0,000870322 |
| 28/03/2014 | 29250 | 0,019163763  |
| 31/03/2014 | 29250 | 0            |
| 01/04/2014 | 30000 | 0,025641026  |
| 02/04/2014 | 29925 | -0,0025      |



|            |       |              |
|------------|-------|--------------|
| 03/04/2014 | 30000 | 0,002506266  |
| 04/04/2014 | 29400 | -0,02        |
| 07/04/2014 | 29950 | 0,018707483  |
| 08/04/2014 | 29675 | -0,00918197  |
| 09/04/2014 | 29675 | 0            |
| 10/04/2014 | 29550 | -0,0042123   |
| 11/04/2014 | 30525 | 0,032994924  |
| 14/04/2014 | 30750 | 0,007371007  |
| 15/04/2014 | 30675 | -0,002439024 |
| 16/04/2014 | 30100 | -0,018744906 |
| 17/04/2014 | 30800 | 0,023255814  |
| 18/04/2014 | 30800 | 0            |
| 21/04/2014 | 30700 | -0,003246753 |
| 22/04/2014 | 30825 | 0,004071661  |
| 23/04/2014 | 29975 | -0,02757502  |
| 24/04/2014 | 29300 | -0,022518766 |
| 25/04/2014 | 29025 | -0,009385666 |
| 28/04/2014 | 28575 | -0,015503876 |
| 29/04/2014 | 29000 | 0,014873141  |
| 30/04/2014 | 29250 | 0,00862069   |
| 01/05/2014 | 29250 | 0            |
| 02/05/2014 | 29200 | -0,001709402 |
| 05/05/2014 | 29725 | 0,017979452  |
| 06/05/2014 | 29375 | -0,011774601 |
| 07/05/2014 | 30225 | 0,02893617   |
| 08/05/2014 | 30400 | 0,005789909  |
| 09/05/2014 | 30750 | 0,011513158  |
| 12/05/2014 | 30575 | -0,005691057 |
| 13/05/2014 | 30200 | -0,012264922 |
| 14/05/2014 | 30800 | 0,01986755   |
| 15/05/2014 | 30800 | 0            |
| 16/05/2014 | 30800 | 0            |
| 19/05/2014 | 30500 | -0,00974026  |
| 20/05/2014 | 29600 | -0,029508197 |
| 21/05/2014 | 30000 | 0,013513514  |
| 22/05/2014 | 30025 | 0,000833333  |
| 23/05/2014 | 30025 | 0            |
| 26/05/2014 | 30125 | 0,003330558  |
| 27/05/2014 | 30125 | 0            |
| 28/05/2014 | 30200 | 0,002489627  |
| 29/05/2014 | 30200 | 0            |
| 30/05/2014 | 29125 | -0,035596026 |



## B. Data Saham Harian Perusahaan Gas Negara

| <b>Tanggal</b> | <b>Harga Closing Saham Harian</b> | <b>Return</b> |
|----------------|-----------------------------------|---------------|
| 31/05/2013     | 5500                              |               |
| 03/06/2013     | 5600                              | 0,018181818   |
| 04/06/2013     | 5650                              | 0,008928571   |
| 05/06/2013     | 5700                              | 0,008849558   |
| 06/06/2013     | 5700                              | 0             |
| 07/06/2013     | 5350                              | -0,061403509  |
| 10/06/2013     | 5450                              | 0,018691589   |
| 11/06/2013     | 5350                              | -0,018348624  |
| 12/06/2013     | 5400                              | 0,009345794   |
| 13/06/2013     | 5150                              | -0,046296296  |
| 14/06/2013     | 5300                              | 0,029126214   |
| 17/06/2013     | 5400                              | 0,018867925   |
| 18/06/2013     | 5500                              | 0,018518519   |
| 19/06/2013     | 5300                              | -0,036363636  |
| 20/06/2013     | 5100                              | -0,037735849  |
| 21/06/2013     | 4800                              | -0,058823529  |
| 24/06/2013     | 4650                              | -0,03125      |
| 25/06/2013     | 4975                              | 0,069892473   |
| 26/06/2013     | 5250                              | 0,055276382   |
| 27/06/2013     | 5550                              | 0,057142857   |
| 28/06/2013     | 5750                              | 0,036036036   |
| 01/07/2013     | 5950                              | 0,034782609   |
| 02/07/2013     | 5700                              | -0,042016807  |
| 03/07/2013     | 5750                              | 0,00877193    |
| 04/07/2013     | 5750                              | 0             |
| 05/07/2013     | 5550                              | -0,034782609  |
| 08/07/2013     | 5650                              | 0,018018018   |
| 09/07/2013     | 5500                              | -0,026548673  |
| 10/07/2013     | 5750                              | 0,045454545   |
| 11/07/2013     | 5900                              | 0,026086957   |
| 12/07/2013     | 5950                              | 0,008474576   |
| 15/07/2013     | 5550                              | -0,067226891  |
| 16/07/2013     | 5550                              | 0             |
| 17/07/2013     | 5700                              | 0,027027027   |
| 18/07/2013     | 5750                              | 0,00877193    |
| 19/07/2013     | 5900                              | 0,026086957   |
| 22/07/2013     | 5700                              | -0,033898305  |
| 23/07/2013     | 5800                              | 0,01754386    |
| 24/07/2013     | 5650                              | -0,025862069  |
| 25/07/2013     | 5650                              | 0             |
| 26/07/2013     | 5800                              | 0,026548673   |



|            |      |              |
|------------|------|--------------|
| 29/07/2013 | 5700 | -0,017241379 |
| 30/07/2013 | 5900 | 0,035087719  |
| 31/07/2013 | 5900 | 0            |
| 01/08/2013 | 5800 | -0,016949153 |
| 02/08/2013 | 5700 | -0,017241379 |
| 05/08/2013 | 5700 | 0            |
| 06/08/2013 | 5700 | 0            |
| 07/08/2013 | 5700 | 0            |
| 08/08/2013 | 5700 | 0            |
| 09/08/2013 | 5700 | 0            |
| 12/08/2013 | 5500 | -0,035087719 |
| 13/08/2013 | 5550 | 0,009090909  |
| 14/08/2013 | 5550 | 0            |
| 15/08/2013 | 5700 | 0,027027027  |
| 16/08/2013 | 5700 | 0            |
| 19/08/2013 | 5450 | -0,043859649 |
| 20/08/2013 | 5100 | -0,064220183 |
| 21/08/2013 | 5050 | -0,009803922 |
| 22/08/2013 | 5200 | 0,02970297   |
| 23/08/2013 | 5250 | 0,009615385  |
| 26/08/2013 | 5250 | 0            |
| 27/08/2013 | 5200 | -0,00952381  |
| 28/08/2013 | 5050 | -0,028846154 |
| 29/08/2013 | 5100 | 0,00990099   |
| 30/08/2013 | 5400 | 0,058823529  |
| 02/09/2013 | 5150 | -0,046296296 |
| 03/09/2013 | 5450 | 0,058252427  |
| 04/09/2013 | 5250 | -0,036697248 |
| 05/09/2013 | 5100 | -0,028571429 |
| 06/09/2013 | 5250 | 0,029411765  |
| 09/09/2013 | 5400 | 0,028571429  |
| 10/09/2013 | 5400 | 0            |
| 11/09/2013 | 5300 | -0,018518519 |
| 12/09/2013 | 5150 | -0,028301887 |
| 13/09/2013 | 5250 | 0,019417476  |
| 16/09/2013 | 5400 | 0,028571429  |
| 17/09/2013 | 5350 | -0,009259259 |
| 18/09/2013 | 5250 | -0,018691589 |
| 19/09/2013 | 5450 | 0,038095238  |
| 20/09/2013 | 5450 | 0            |
| 23/09/2013 | 5450 | 0            |
| 24/09/2013 | 5300 | -0,027522936 |
| 25/09/2013 | 5050 | -0,047169811 |
| 26/09/2013 | 5150 | 0,01980198   |
| 27/09/2013 | 5250 | 0,019417476  |



|            |      |              |
|------------|------|--------------|
| 30/09/2013 | 5200 | -0,00952381  |
| 01/10/2013 | 5300 | 0,019230769  |
| 02/10/2013 | 5350 | 0,009433962  |
| 03/10/2013 | 5300 | -0,009345794 |
| 04/10/2013 | 5250 | -0,009433962 |
| 07/10/2013 | 5300 | 0,00952381   |
| 08/10/2013 | 5350 | 0,009433962  |
| 09/10/2013 | 5250 | -0,018691589 |
| 10/10/2013 | 5350 | 0,019047619  |
| 11/10/2013 | 5450 | 0,018691589  |
| 14/10/2013 | 5450 | 0            |
| 15/10/2013 | 5450 | 0            |
| 16/10/2013 | 5400 | -0,009174312 |
| 17/10/2013 | 5450 | 0,009259259  |
| 18/10/2013 | 5350 | -0,018348624 |
| 21/10/2013 | 5450 | 0,018691589  |
| 22/10/2013 | 5300 | -0,027522936 |
| 23/10/2013 | 5200 | -0,018867925 |
| 24/10/2013 | 5150 | -0,009615385 |
| 25/10/2013 | 4975 | -0,033980583 |
| 28/10/2013 | 5050 | 0,015075377  |
| 29/10/2013 | 5150 | 0,01980198   |
| 30/10/2013 | 5150 | 0            |
| 31/10/2013 | 5100 | -0,009708738 |
| 01/11/2013 | 4975 | -0,024509804 |
| 04/11/2013 | 4950 | -0,005025126 |
| 05/11/2013 | 4950 | 0            |
| 06/11/2013 | 4975 | 0,005050505  |
| 07/11/2013 | 5000 | 0,005025126  |
| 08/11/2013 | 4925 | -0,015       |
| 11/11/2013 | 4950 | 0,005076142  |
| 12/11/2013 | 5050 | 0,02020202   |
| 13/11/2013 | 5000 | -0,00990099  |
| 14/11/2013 | 4925 | -0,015       |
| 15/11/2013 | 4850 | -0,015228426 |
| 18/11/2013 | 4925 | 0,015463918  |
| 19/11/2013 | 4900 | -0,005076142 |
| 20/11/2013 | 4700 | -0,040816327 |
| 21/11/2013 | 4675 | -0,005319149 |
| 22/11/2013 | 4800 | 0,026737968  |
| 25/11/2013 | 4750 | -0,010416667 |
| 26/11/2013 | 4450 | -0,063157895 |
| 27/11/2013 | 4725 | 0,061797753  |
| 28/11/2013 | 4825 | 0,021164021  |
| 29/11/2013 | 4850 | 0,005181347  |



|            |      |              |
|------------|------|--------------|
| 02/12/2013 | 4900 | 0,010309278  |
| 03/12/2013 | 4900 | 0            |
| 04/12/2013 | 4875 | -0,005102041 |
| 05/12/2013 | 4875 | 0            |
| 06/12/2013 | 4850 | -0,005128205 |
| 09/12/2013 | 4825 | -0,005154639 |
| 10/12/2013 | 4850 | 0,005181347  |
| 11/12/2013 | 4875 | 0,005154639  |
| 12/12/2013 | 4750 | -0,025641026 |
| 13/12/2013 | 4625 | -0,026315789 |
| 16/12/2013 | 4475 | -0,032432432 |
| 17/12/2013 | 4525 | -0,011173184 |
| 18/12/2013 | 4600 | 0,016574586  |
| 19/12/2013 | 4575 | -0,005434783 |
| 20/12/2013 | 4500 | -0,016393443 |
| 23/12/2013 | 4500 | 0            |
| 24/12/2013 | 4475 | -0,005555556 |
| 25/12/2013 | 4475 | 0            |
| 26/12/2013 | 4475 | 0            |
| 27/12/2013 | 4400 | -0,016759777 |
| 30/12/2013 | 4475 | 0,017045455  |
| 31/12/2013 | 4475 | 0            |
| 01/01/2014 | 4475 | 0            |
| 02/01/2014 | 4600 | 0,027932961  |
| 03/01/2014 | 4550 | -0,010869565 |
| 06/01/2014 | 4400 | -0,032967033 |
| 07/01/2014 | 4270 | -0,029545455 |
| 08/01/2014 | 4250 | -0,004683841 |
| 09/01/2014 | 4280 | 0,007058824  |
| 10/01/2014 | 4435 | 0,036214953  |
| 13/01/2014 | 4420 | -0,003382187 |
| 14/01/2014 | 4420 | 0            |
| 15/01/2014 | 4370 | -0,011312217 |
| 16/01/2014 | 4260 | -0,025171625 |
| 17/01/2014 | 4385 | 0,029342723  |
| 20/01/2014 | 4695 | 0,070695553  |
| 21/01/2014 | 4700 | 0,001064963  |
| 22/01/2014 | 4725 | 0,005319149  |
| 23/01/2014 | 4685 | -0,008465608 |
| 24/01/2014 | 4700 | 0,003201708  |
| 27/01/2014 | 4560 | -0,029787234 |
| 28/01/2014 | 4600 | 0,00877193   |
| 29/01/2014 | 4760 | 0,034782609  |
| 30/01/2014 | 4770 | 0,00210084   |
| 31/01/2014 | 4770 | 0            |



|            |      |              |
|------------|------|--------------|
| 03/02/2014 | 4790 | 0,004192872  |
| 04/02/2014 | 4745 | -0,009394572 |
| 05/02/2014 | 4820 | 0,015806112  |
| 06/02/2014 | 4830 | 0,002074689  |
| 07/02/2014 | 4830 | 0            |
| 10/02/2014 | 4825 | -0,001035197 |
| 11/02/2014 | 4800 | -0,005181347 |
| 12/02/2014 | 4805 | 0,001041667  |
| 13/02/2014 | 4790 | -0,003121748 |
| 14/02/2014 | 4930 | 0,029227557  |
| 17/02/2014 | 4955 | 0,005070994  |
| 18/02/2014 | 4965 | 0,002018163  |
| 19/02/2014 | 5050 | 0,017119839  |
| 20/02/2014 | 5050 | 0            |
| 21/02/2014 | 5000 | -0,00990099  |
| 24/02/2014 | 5000 | 0            |
| 25/02/2014 | 4950 | -0,01        |
| 26/02/2014 | 4865 | -0,017171717 |
| 27/02/2014 | 4900 | 0,007194245  |
| 28/02/2014 | 4900 | 0            |
| 03/03/2014 | 4940 | 0,008163265  |
| 04/03/2014 | 4945 | 0,001012146  |
| 05/03/2014 | 5000 | 0,011122346  |
| 06/03/2014 | 5000 | 0            |
| 07/03/2014 | 4960 | -0,008       |
| 10/03/2014 | 4960 | 0            |
| 11/03/2014 | 4915 | -0,009072581 |
| 12/03/2014 | 4985 | 0,014242116  |
| 13/03/2014 | 5175 | 0,038114343  |
| 14/03/2014 | 5275 | 0,019323671  |
| 17/03/2014 | 5300 | 0,004739336  |
| 18/03/2014 | 5175 | -0,023584906 |
| 19/03/2014 | 5075 | -0,019323671 |
| 20/03/2014 | 4880 | -0,038423645 |
| 21/03/2014 | 5175 | 0,06045082   |
| 24/03/2014 | 4995 | -0,034782609 |
| 25/03/2014 | 4950 | -0,009009009 |
| 26/03/2014 | 5025 | 0,015151515  |
| 27/03/2014 | 5125 | 0,019900498  |
| 28/03/2014 | 5125 | 0            |
| 31/03/2014 | 5125 | 0            |
| 01/04/2014 | 5250 | 0,024390244  |
| 02/04/2014 | 5125 | -0,023809524 |
| 03/04/2014 | 5150 | 0,004878049  |
| 04/04/2014 | 5125 | -0,004854369 |



|            |      |              |
|------------|------|--------------|
| 07/04/2014 | 5325 | 0,03902439   |
| 08/04/2014 | 5275 | -0,009389671 |
| 09/04/2014 | 5275 | 0            |
| 10/04/2014 | 5200 | -0,014218009 |
| 11/04/2014 | 5275 | 0,014423077  |
| 14/04/2014 | 5325 | 0,009478673  |
| 15/04/2014 | 5400 | 0,014084507  |
| 16/04/2014 | 5250 | -0,027777778 |
| 17/04/2014 | 5350 | 0,019047619  |
| 18/04/2014 | 5350 | 0            |
| 21/04/2014 | 5400 | 0,009345794  |
| 22/04/2014 | 5400 | 0            |
| 23/04/2014 | 5425 | 0,00462963   |
| 24/04/2014 | 5475 | 0,00921659   |
| 25/04/2014 | 5525 | 0,00913242   |
| 28/04/2014 | 5475 | -0,009049774 |
| 29/04/2014 | 5300 | -0,03196347  |
| 30/04/2014 | 5325 | 0,004716981  |
| 01/05/2014 | 5325 | 0            |
| 02/05/2014 | 5300 | -0,004694836 |
| 05/05/2014 | 5275 | -0,004716981 |
| 06/05/2014 | 5275 | 0            |
| 07/05/2014 | 5350 | 0,014218009  |
| 08/05/2014 | 5275 | -0,014018692 |
| 09/05/2014 | 5275 | 0            |
| 12/05/2014 | 5475 | 0,037914692  |
| 13/05/2014 | 5450 | -0,00456621  |
| 14/05/2014 | 5475 | 0,004587156  |
| 15/05/2014 | 5475 | 0            |
| 16/05/2014 | 5525 | 0,00913242   |
| 19/05/2014 | 5575 | 0,009049774  |
| 20/05/2014 | 5475 | -0,01793722  |
| 21/05/2014 | 5600 | 0,02283105   |
| 22/05/2014 | 5725 | 0,022321429  |
| 23/05/2014 | 5750 | 0,004366812  |
| 26/05/2014 | 5700 | -0,008695652 |
| 27/05/2014 | 5700 | 0            |
| 28/05/2014 | 5725 | 0,004385965  |
| 29/05/2014 | 5725 | 0            |
| 30/05/2014 | 5425 | -0,052401747 |



### C. Data Saham Harian Semen Indonesia

| Tanggal    | Harga Closing Saham Harian | Return       |
|------------|----------------------------|--------------|
| 31/05/2013 | 18000                      |              |
| 03/06/2013 | 17700                      | -0,016666667 |
| 04/06/2013 | 17550                      | -0,008474576 |
| 05/06/2013 | 17450                      | -0,005698006 |
| 06/06/2013 | 17450                      | 0            |
| 07/06/2013 | 16100                      | -0,077363897 |
| 10/06/2013 | 16300                      | 0,01242236   |
| 11/06/2013 | 15300                      | -0,061349693 |
| 12/06/2013 | 16550                      | 0,081699346  |
| 13/06/2013 | 16700                      | 0,009063444  |
| 14/06/2013 | 17600                      | 0,053892216  |
| 17/06/2013 | 17950                      | 0,019886364  |
| 18/06/2013 | 17850                      | -0,005571031 |
| 19/06/2013 | 17800                      | -0,00280112  |
| 20/06/2013 | 17500                      | -0,016853933 |
| 21/06/2013 | 16100                      | -0,08        |
| 24/06/2013 | 15600                      | -0,031055901 |
| 25/06/2013 | 15600                      | 0            |
| 26/06/2013 | 16350                      | 0,048076923  |
| 27/06/2013 | 16500                      | 0,009174312  |
| 28/06/2013 | 17100                      | 0,036363636  |
| 01/07/2013 | 16900                      | -0,011695906 |
| 02/07/2013 | 17050                      | 0,00887574   |
| 03/07/2013 | 16000                      | -0,061583578 |
| 04/07/2013 | 15650                      | -0,021875    |
| 05/07/2013 | 15600                      | -0,003194888 |
| 08/07/2013 | 15000                      | -0,038461538 |
| 09/07/2013 | 14850                      | -0,01        |
| 10/07/2013 | 15000                      | 0,01010101   |
| 11/07/2013 | 15250                      | 0,016666667  |
| 12/07/2013 | 15350                      | 0,006557377  |
| 15/07/2013 | 15000                      | -0,022801303 |
| 16/07/2013 | 15000                      | 0            |
| 17/07/2013 | 15050                      | 0,003333333  |
| 18/07/2013 | 14750                      | -0,019933555 |
| 19/07/2013 | 14600                      | -0,010169492 |
| 22/07/2013 | 14500                      | -0,006849315 |
| 23/07/2013 | 15100                      | 0,04137931   |
| 24/07/2013 | 15350                      | 0,016556291  |
| 25/07/2013 | 15300                      | -0,003257329 |
| 26/07/2013 | 15350                      | 0,003267974  |



|            |       |              |
|------------|-------|--------------|
| 29/07/2013 | 15100 | -0,016286645 |
| 30/07/2013 | 15100 | 0            |
| 31/07/2013 | 15200 | 0,006622517  |
| 01/08/2013 | 15650 | 0,029605263  |
| 02/08/2013 | 15900 | 0,015974441  |
| 05/08/2013 | 15900 | 0            |
| 06/08/2013 | 15900 | 0            |
| 07/08/2013 | 15900 | 0            |
| 08/08/2013 | 15900 | 0            |
| 09/08/2013 | 15900 | 0            |
| 12/08/2013 | 15350 | -0,034591195 |
| 13/08/2013 | 15500 | -0,009771987 |
| 14/08/2013 | 15400 | -0,006451613 |
| 15/08/2013 | 15300 | -0,006493506 |
| 16/08/2013 | 14800 | -0,032679739 |
| 19/08/2013 | 13100 | -0,114864865 |
| 20/08/2013 | 12450 | -0,049618321 |
| 21/08/2013 | 13500 | 0,084337349  |
| 22/08/2013 | 13300 | -0,014814815 |
| 23/08/2013 | 13450 | 0,011278195  |
| 26/08/2013 | 12700 | -0,055762082 |
| 27/08/2013 | 12050 | -0,051181102 |
| 28/08/2013 | 12000 | -0,004149378 |
| 29/08/2013 | 12050 | 0,004166667  |
| 30/08/2013 | 12600 | 0,045643154  |
| 02/09/2013 | 12300 | -0,023809524 |
| 03/09/2013 | 12450 | 0,012195122  |
| 04/09/2013 | 12300 | -0,012048193 |
| 05/09/2013 | 12350 | 0,004065041  |
| 06/09/2013 | 12550 | 0,016194332  |
| 09/09/2013 | 13500 | 0,075697211  |
| 10/09/2013 | 14500 | 0,074074074  |
| 11/09/2013 | 13750 | -0,051724138 |
| 12/09/2013 | 13400 | -0,025454545 |
| 13/09/2013 | 13500 | 0,007462687  |
| 16/09/2013 | 14500 | 0,074074074  |
| 17/09/2013 | 14400 | -0,006896552 |
| 18/09/2013 | 14100 | -0,020833333 |
| 19/09/2013 | 15200 | 0,078014184  |
| 20/09/2013 | 15050 | -0,009868421 |
| 23/09/2013 | 15300 | 0,016611296  |
| 24/09/2013 | 14650 | -0,04248366  |
| 25/09/2013 | 14300 | -0,023890785 |
| 26/09/2013 | 13900 | -0,027972028 |
| 27/09/2013 | 13800 | -0,007194245 |



|            |       |              |
|------------|-------|--------------|
| 30/09/2013 | 13000 | -0,057971014 |
| 01/10/2013 | 13300 | 0,023076923  |
| 02/10/2013 | 13300 | 0            |
| 03/10/2013 | 13500 | 0,015037594  |
| 04/10/2013 | 12900 | -0,044444444 |
| 07/10/2013 | 12800 | -0,007751938 |
| 08/10/2013 | 13150 | 0,02734375   |
| 09/10/2013 | 13600 | 0,034220532  |
| 10/10/2013 | 13850 | 0,018382353  |
| 11/10/2013 | 14250 | 0,028880866  |
| 14/10/2013 | 14250 | 0            |
| 15/10/2013 | 14250 | 0            |
| 16/10/2013 | 13950 | -0,021052632 |
| 17/10/2013 | 14250 | 0,021505376  |
| 18/10/2013 | 14700 | 0,031578947  |
| 21/10/2013 | 14500 | -0,013605442 |
| 22/10/2013 | 13950 | -0,037931034 |
| 23/10/2013 | 14150 | 0,014336918  |
| 24/10/2013 | 14300 | 0,010600707  |
| 25/10/2013 | 14400 | 0,006993007  |
| 28/10/2013 | 14300 | -0,006944444 |
| 29/10/2013 | 14300 | 0            |
| 30/10/2013 | 14350 | 0,003496503  |
| 31/10/2013 | 14350 | 0            |
| 01/11/2013 | 13900 | -0,031358885 |
| 04/11/2013 | 13950 | 0,003597122  |
| 05/11/2013 | 13950 | 0            |
| 06/11/2013 | 13900 | -0,003584229 |
| 07/11/2013 | 13850 | -0,003597122 |
| 08/11/2013 | 13600 | -0,018050542 |
| 11/11/2013 | 13500 | -0,007352941 |
| 12/11/2013 | 13450 | -0,003703704 |
| 13/11/2013 | 12900 | -0,040892193 |
| 14/11/2013 | 13050 | 0,011627907  |
| 15/11/2013 | 12950 | -0,007662835 |
| 18/11/2013 | 13150 | 0,015444015  |
| 19/11/2013 | 13250 | 0,007604563  |
| 20/11/2013 | 12900 | -0,026415094 |
| 21/11/2013 | 12900 | 0            |
| 22/11/2013 | 12950 | 0,003875969  |
| 25/11/2013 | 12850 | -0,007722008 |
| 26/11/2013 | 12600 | -0,019455253 |
| 27/11/2013 | 12900 | 0,023809524  |
| 28/11/2013 | 12850 | -0,003875969 |
| 29/11/2013 | 12800 | -0,003891051 |



|            |       |              |
|------------|-------|--------------|
| 02/12/2013 | 13150 | 0,02734375   |
| 03/12/2013 | 13050 | -0,007604563 |
| 04/12/2013 | 12800 | -0,019157088 |
| 05/12/2013 | 12750 | -0,00390625  |
| 06/12/2013 | 12750 | 0            |
| 09/12/2013 | 12800 | 0,003921569  |
| 10/12/2013 | 13150 | 0,02734375   |
| 11/12/2013 | 13250 | 0,007604563  |
| 12/12/2013 | 13050 | -0,01509434  |
| 13/12/2013 | 13000 | -0,003831418 |
| 16/12/2013 | 12900 | -0,007692308 |
| 17/12/2013 | 13150 | 0,019379845  |
| 18/12/2013 | 13500 | 0,02661597   |
| 19/12/2013 | 13900 | 0,02962963   |
| 20/12/2013 | 13950 | 0,003597122  |
| 23/12/2013 | 14000 | 0,003584229  |
| 24/12/2013 | 14000 | 0            |
| 25/12/2013 | 14000 | 0            |
| 26/12/2013 | 14000 | 0            |
| 27/12/2013 | 14050 | 0,003571429  |
| 30/12/2013 | 14150 | 0,007117438  |
| 31/12/2013 | 14150 | 0            |
| 01/01/2014 | 14150 | 0            |
| 02/01/2014 | 14500 | 0,024734982  |
| 03/01/2014 | 14350 | -0,010344828 |
| 06/01/2014 | 14300 | -0,003484321 |
| 07/01/2014 | 14275 | -0,001748252 |
| 08/01/2014 | 14125 | -0,010507881 |
| 09/01/2014 | 14100 | -0,001769912 |
| 10/01/2014 | 14900 | 0,056737589  |
| 13/01/2014 | 15525 | 0,041946309  |
| 14/01/2014 | 15525 | 0            |
| 15/01/2014 | 15675 | 0,009661836  |
| 16/01/2014 | 15200 | -0,03030303  |
| 17/01/2014 | 15200 | 0            |
| 20/01/2014 | 15075 | -0,008223684 |
| 21/01/2014 | 14975 | -0,006633499 |
| 22/01/2014 | 14675 | -0,020033389 |
| 23/01/2014 | 14900 | 0,015332198  |
| 24/01/2014 | 14550 | -0,023489933 |
| 27/01/2014 | 13975 | -0,0395189   |
| 28/01/2014 | 14000 | 0,001788909  |
| 29/01/2014 | 14400 | 0,028571429  |
| 30/01/2014 | 14200 | -0,013888889 |
| 31/01/2014 | 14200 | 0            |



|            |       |              |
|------------|-------|--------------|
| 03/02/2014 | 14000 | -0,014084507 |
| 04/02/2014 | 13875 | -0,008928571 |
| 05/02/2014 | 14425 | 0,03963964   |
| 06/02/2014 | 14550 | 0,008665511  |
| 07/02/2014 | 14950 | 0,027491409  |
| 10/02/2014 | 15075 | 0,008361204  |
| 11/02/2014 | 15100 | 0,001658375  |
| 12/02/2014 | 15100 | 0            |
| 13/02/2014 | 15100 | 0            |
| 14/02/2014 | 14850 | -0,016556291 |
| 17/02/2014 | 15225 | 0,025252525  |
| 18/02/2014 | 15000 | -0,014778325 |
| 19/02/2014 | 15000 | 0            |
| 20/02/2014 | 15100 | 0,006666667  |
| 21/02/2014 | 15075 | -0,001655629 |
| 24/02/2014 | 14900 | -0,011608624 |
| 25/02/2014 | 14650 | -0,016778523 |
| 26/02/2014 | 14375 | -0,018771331 |
| 27/02/2014 | 14450 | 0,005217391  |
| 28/02/2014 | 15000 | 0,038062284  |
| 03/03/2014 | 14700 | -0,02        |
| 04/03/2014 | 14700 | 0            |
| 05/03/2014 | 14875 | 0,011904762  |
| 06/03/2014 | 15100 | 0,01512605   |
| 07/03/2014 | 15300 | 0,013245033  |
| 10/03/2014 | 15300 | 0            |
| 11/03/2014 | 15450 | 0,009803922  |
| 12/03/2014 | 15125 | -0,021035599 |
| 13/03/2014 | 15100 | -0,001652893 |
| 14/03/2014 | 16000 | 0,059602649  |
| 17/03/2014 | 16500 | 0,03125      |
| 18/03/2014 | 16075 | -0,025757576 |
| 19/03/2014 | 16000 | -0,00466563  |
| 20/03/2014 | 15300 | -0,04375     |
| 21/03/2014 | 15400 | 0,006535948  |
| 24/03/2014 | 15750 | 0,022727273  |
| 25/03/2014 | 15750 | 0            |
| 26/03/2014 | 15700 | -0,003174603 |
| 27/03/2014 | 15700 | 0            |
| 28/03/2014 | 15800 | 0,006369427  |
| 31/03/2014 | 15800 | 0            |
| 01/04/2014 | 16500 | 0,044303797  |
| 02/04/2014 | 16600 | 0,006060606  |
| 03/04/2014 | 17000 | 0,024096386  |
| 04/04/2014 | 16625 | -0,022058824 |



|            |       |              |
|------------|-------|--------------|
| 07/04/2014 | 16850 | 0,013533835  |
| 08/04/2014 | 16800 | -0,002967359 |
| 09/04/2014 | 16800 | 0            |
| 10/04/2014 | 15675 | -0,066964286 |
| 11/04/2014 | 15325 | -0,022328549 |
| 14/04/2014 | 15925 | 0,039151713  |
| 15/04/2014 | 15925 | 0            |
| 16/04/2014 | 15950 | 0,001569859  |
| 17/04/2014 | 15825 | -0,007836991 |
| 18/04/2014 | 15825 | 0            |
| 21/04/2014 | 15775 | -0,003159558 |
| 22/04/2014 | 15700 | -0,004754358 |
| 23/04/2014 | 15700 | 0            |
| 24/04/2014 | 15525 | -0,011146497 |
| 25/04/2014 | 15700 | 0,011272142  |
| 28/04/2014 | 15425 | -0,017515924 |
| 29/04/2014 | 14975 | -0,02917342  |
| 30/04/2014 | 14850 | -0,008347245 |
| 01/05/2014 | 14850 | 0            |
| 02/05/2014 | 14600 | -0,016835017 |
| 05/05/2014 | 14675 | 0,005136986  |
| 06/05/2014 | 14525 | -0,010221465 |
| 07/05/2014 | 14275 | -0,017211704 |
| 08/05/2014 | 14700 | 0,029772329  |
| 09/05/2014 | 14800 | 0,006802721  |
| 12/05/2014 | 15600 | 0,054054054  |
| 13/05/2014 | 15600 | 0            |
| 14/05/2014 | 15950 | 0,022435897  |
| 15/05/2014 | 15950 | 0            |
| 16/05/2014 | 15950 | 0            |
| 19/05/2014 | 15275 | -0,042319749 |
| 20/05/2014 | 14850 | -0,027823241 |
| 21/05/2014 | 14975 | 0,008417508  |
| 22/05/2014 | 14950 | -0,001669449 |
| 23/05/2014 | 15025 | 0,005016722  |
| 26/05/2014 | 15000 | -0,001663894 |
| 27/05/2014 | 15000 | 0            |
| 28/05/2014 | 15225 | 0,015        |
| 29/05/2014 | 15225 | 0            |
| 30/05/2014 | 14725 | -0,032840722 |



## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Surabaya, 29 Agustus 1992, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Kutisari 1 Surabaya (1998-2004), SMPN 12 Surabaya (2004-2007), dan SMAN 15 Surabaya (2007-2009). Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 Jurusan Matematika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui Jalur PMDK reguler tahun 2009 dan terdaftar dengan NRP 1209 100 009. Di Jurusan Matematika ini penulis mengambil Bidang Studi Pemodelan dan Simulasi Sistem. Penulis aktif di beberapa organisasi intra kampus diantaranya : Himpunan Mahasiswa Matematika (HIMATIKA) sebagai staf Departemen PPA periode 2010-2011 dan staf Departemen Kesma periode 2011-2012 serta Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FMIPA sebagai staf Departemen PSDM periode 2010-2011 dan menteri Departemen PSDM periode 2011-2012. Penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan pelatihan kemahasiswaan, diantaranya LKMM Pra TD FMIPA 2009, LKMM TD Himatika 2010, Pelatihan Pemandu LKMM 2010, LKMM TM FMIPA 2011, dan LKMM TL ITS 2012. Disamping itu, sejak semester 5 penulis dipercaya menjadi asisten dosen matakuliah kalkulus I dan kalkulus II. Pada tahun 2013 penulis berhasil lulus dari Jurusan Matematika ITS dengan tugas akhir yang berjudul “Penerapan *Model Predictive Control* (MPC) Pada Kendali Haluan Kapal”. Setelah menempuh pendidikan S1, selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan magister pada Program Pascasarjana Matematika ITS 2013 dan terdaftar dengan NRP 1213 201 050. Dalam 4 semester menempuh program magister penulis mengambil Bidang Studi Pemodelan dan Simulasi Sistem.

Kritik, saran, maupun pertanyaan serta informasi lebih lengkap mengenai tesis ini dapat ditujukan ke alamat email : [wawan.hafid@gmail.com](mailto:wawan.hafid@gmail.com).



